



**DIOGO APPEL
COLVERO**

**ESTUDO DAS OPORTUNIDADES DE VALORIZAÇÃO
DE RESÍDUOS URBANOS PARA O ESTADO DE
GOIÁS (BRASIL)**

**STUDY OF MUNICIPAL SOLID WASTE RECOVERY
OPPORTUNITIES FOR GOIÁS STATE (BRAZIL)**



**DIOGO APPEL
COLVERO**

**ESTUDO DAS OPORTUNIDADES DE VALORIZAÇÃO
DE RESÍDUOS URBANOS PARA O ESTADO DE
GOIÁS (BRASIL)**

**STUDY OF MUNICIPAL SOLID WASTE RECOVERY
OPPORTUNITIES FOR GOIÁS STATE (BRAZIL)**

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Ciências e Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Ana Paula Duarte Gomes, Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e coorientação do Professor Doutor Luís António da Cruz Tarelho e do Professor Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos, respetivamente, Professor Associado e Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Apoio financeiro do Conselho Nacional
de Desenvolvimento Científico e
Tecnológico – CNPq, Brasil, Processo
n.º 207172/2014-5

“Tudo de bom que vocês me fizeram
Faz minha rima ficar mais rara

O que vocês fazem me ajuda a cantar
Põe um sorriso na minha cara

Meus amores, vocês me dão sorte
Meus amores, vocês me dão sorte
Meus amores, vocês me dão sorte na vida”
(adaptado de Sorte, Papas da Língua).

Dedico esta música às minhas fontes de inspiração, para a minha
companheira de sempre, Juliana, e para a minha filha Beatriz, que chegou
para dar mais luz às nossas vidas.

o júri

presidente

Professor Doutor Armando da Costa Duarte
Professor Catedrático, Universidade de Aveiro

Professora Doutora Ana Isabel Espinha da Silveira
Professora Auxiliar, Universidade Nova de Lisboa

Professor Doutor Antônio Pasqualetto
Professor Titular, Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Professor Doutor Carlos Afonso de Moura Teixeira
Professor Auxiliar, Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro

Professora Doutora Maria Isabel da Silva Nunes
Professora Auxiliar, Universidade de Aveiro

Professora Doutora Ana Paula Duarte Gomes
Professora Auxiliar, Universidade de Aveiro
(Orientadora)

agradecimentos

A execução deste estudo só se tornou realidade graças a pessoas e organizações nas quais tenho que agradecer:

Primeiramente, à professora Doutora Ana Paula Gomes, que me proporcionou um grande aprendizado, uma profissional e ser humano ímpar.

Aos meus coorientadores, os professores Doutores Manuel Arlindo de Matos e Luís António Tarelho, pela expertise na área de Ciências e Engenharia do Ambiente.

Aos funcionários e aos demais professores do Departamento do Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, assim como aos colegas do programa doutoral.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, órgão do Brasil que me atribuiu a bolsa de doutoramento, possibilitando assim tornar realidade o anseio de qualificar-me na Universidade de Aveiro.

Aos meus amigos, tanto aqueles que já possuía quanto aqueles que fiz durante o doutoramento, por tornarem mais leve e alegre minha caminhada...amigos das mais diversas nacionalidades, vocês são parte deste trabalho.

Agradeço à minha família, que esteve presente em cada instante aqui vivido...à minha mãe, ao meu pai, às minhas irmãs, à minha esposa Juliana e à minha filha Beatriz.

Por fim, agradeço a todos que me incentivaram e me apoiaram durante toda esta jornada.

Muito obrigado!

palavras-chave

Resíduos urbanos (RU), valorização, sistemas de gestão partilhados, hierarquia de gestão dos RU, Estado de Goiás, Brasil.

resumo

A gestão de resíduos urbanos (RU) no Brasil, mesmo após a criação da Lei n.º 12305, em 2010, e ao crescente número de estudos que têm vindo a ser produzidos acerca da temática, continua a ser deficitária. No Estado de Goiás, por exemplo, somente 6,5% dos municípios encaminharam seus RU para aterros licenciados no ano de 2015. O presente estudo teve por objetivo propor futuros sistemas de gestão de resíduos urbanos (SGRU) para o Estado de Goiás, Brasil, apoiados em instrumentos de avaliação dos aspetos económicos, ambientais e sociais, à luz dos atuais princípios para a gestão de RU, e da legislação brasileira para estes resíduos. Para conceber os SGRU estudados baseou-se na valorização dos resíduos em função da sua natureza, na participação dos cidadãos e considerando a necessidade do encerramento e monitorização dos sistemas de deposição final inadequados existentes nos municípios goianos. A partir da utilização da metodologia das áreas livres ou restritas para a instalação de sistemas de deposição final de RU, aliada à metodologia da geometria das massas, foram propostos 46 SGRU para o Estado de Goiás, muito marcados pelas distâncias entre si. Como exemplo, foram avaliados em maior detalhe dois destes SGRU propostos: um que atenderá a dois municípios de pequeno porte populacional, que juntos produziram $15 \text{ t} \cdot \text{dia}^{-1}$ de RU em 2017, e outro que atenderá 19 municípios goianos que, em conjunto, produziram mais de $2\,100 \text{ t} \cdot \text{dia}^{-1}$ de RU nesse mesmo ano. No SGRU que atenderá dois municípios, os principais resultados apontaram que, para minimizar os custos com a recolha e transporte dos RU, que representam 60% dos custos totais da gestão destes resíduos, a alternativa economicamente mais viável é por SGRU que descentalizem ao nível dos municípios as operações de tratamento de RU recolhidos de forma diferenciada. Por outras palavras, os municípios devem valorizar parte dos RU, enviando para um sistema centralizado apenas os refugos das operações locais e os resíduos provenientes da recolha indiferenciada. Enquanto que no SGRU que atenderá 19 municípios, confrontou-se a compostagem comunitária (CC) com a digestão anaeróbia (DA), sendo a eliminação dos resíduos em uma unidade de incineração com aproveitamento energético. Os resultados apontaram que, em termos económicos, a CC é menos onerosa, enquanto que em termos ambientais, a DA é mais vantajosa. Por outro lado, verificou-se que, com as receitas provenientes da venda de recicláveis e da energia elétrica produzida na DA e na incineração, juntamente com a tarifa da gestão dos RU a ser cobrada à população, este sistema de gestão torna-se economicamente atrativo para investidores, que teriam o retorno do capital investido entre 10 e 11 anos após a instalação, considerando uma taxa interna de rentabilidade de 8%.

keywords

Municipal solid waste (MSW), recovery, shared management facilities, MSW management hierarchy, Goiás State, Brazil.

abstract

Municipal solid waste (MSW) management is deficient in Brazil, despite of Law no. 12,305 (of 2010) and the increasing number of studies that have been produced. In Goiás State, for example, only 6.5% of the municipalities sent their MSW to licenced landfills, in 2015. The present study aimed to propose future MSW management facilities (MSWMF) for Goiás State, Brazil, aided by economic, environmental and social assessment instruments, accounting for the current MSW management principles and Brazilian MSW legislation. The structure of the studied MSWMF is based on waste recovery, depending on its type, on citizens' participation and the need for monitoring and termination of existing inadequate final deposition facilities in Goiás municipalities. Using the methodology of free/restricted areas for the installation of MSW final disposal facilities, in conjunction with the mass geometry methodology, 46 distinct MSWMF have been proposed for Goiás. For example, two of these proposed MSWMF were evaluated in greater detail: one that will serve two small population municipalities, that produced 15 t·day⁻¹ of MSW, in 2017, and another one that will serve 19 Goiás municipalities, which produced more than 2 100 t·day⁻¹ of MSW, in the same year. For the MSWMF that will serve two municipalities, the main results showed that, in order to minimize MSW collection and transport costs, which represent 60% of the total MSW management costs, the most economically feasible alternative is to decentralise the source-separated MSW processing operations at municipality level. In other words, the municipalities must recover part of the MSW, by only sending to a centralised facility the refuse from local operations and the waste from commingled collection. While in the MSWMF for 19 municipalities, a comparison was made, between community composting (CC) and anaerobic digestion (AD), both with a waste to energy incineration plant for MSW elimination. The results showed that, in economic terms, CC is less costly, while environmentally, AD is more advantageous. On the other hand, it was found out that, with the revenues from the sale of recyclables and electricity produced by DA and incineration, along with MSW management tariff being charged to the population, this management facility becomes economically attractive for investors, who would recoup the invested funds between 10 and 11 years after the start of operations, considering an internal rate of return of 8%.

ÍNDICE

SECÇÃO A – A proposta de estudo	1
1. Apresentação da tese	3
1.1. Introdução.....	3
1.2. Objetivo.....	6
1.3. Estrutura da tese	7
1.4. Produção científica no âmbito da tese.....	9
Referências bibliográficas.....	11
SECÇÃO B – O cenário atual da gestão dos RU em municípios de Goiás	15
2. Avaliação de riscos ocupacionais associados à atividade dos <i>catadores de</i>	
materiais recicláveis: estudo de caso no município de Anápolis, Goiás, Brasil.....	17
2.1. Introdução.....	17
2.2. Materiais e Métodos	19
2.3. Resultados e discussão	24
2.4. Considerações finais.....	32
Referências bibliográficas.....	33
3. Aterro controlado de Goiânia: uma identidade territorial e a vulnerabilidade e	
exclusão social da população nas suas imediações	37
3.1. Introdução.....	37
3.2. Materiais e Métodos	39
3.3. Resultados e Discussão	48
3.4. Considerações Finais.....	56
Referências Bibliográficas	57
SECÇÃO C – RU em Goiás, da produção de resíduos à legislação.....	63
4. Avaliação da geração <i>per capita</i> de resíduos urbanos no Estado de Goiás,	
Brasil: análise estatística de dados.....	65
4.1. Introdução.....	65
4.2. Materiais e Métodos	70
4.3. Resultados e Discussão	71
4.4. Considerações Finais.....	83
Referências Bibliográficas	85

5. Os resíduos urbanos em Goiás: cenário atual e projeções para o futuro.....	87
5.1. Introdução.....	87
5.2. Materiais e Métodos	89
5.3. Resultados e Discussão	96
5.4. Considerações Finais.....	105
Referências Bibliográficas	106
6. A gestão dos resíduos urbanos e a legislação: uma análise do caso de Portugal e os contributos para o Estado de Goiás, Brasil.....	111
6.1. Introdução.....	111
6.2. Materiais e Métodos	112
6.3. Resultados e Discussão	113
6.4. Considerações Finais.....	126
Referências Bibliográficas	128
SECÇÃO D – Delineando a proposta para o modelo de gestão dos RU em Goiás....	135
7. Utilização de um sistema de informação geográfica na identificação de áreas para a instalação de sistemas de gestão de resíduos urbanos.....	137
7.1. Introdução.....	138
7.2. Materiais e métodos	140
7.3. Resultados e discussão	147
7.4. Considerações finais.....	162
Referências bibliográficas.....	164
8. Proposta de sistemas de gestão de resíduos urbanos para os municípios do Estado de Goiás, Brasil	169
8.1. Introdução.....	169
8.2. Materiais e métodos	171
8.3. Resultados e Discussão	177
8.4. Considerações finais.....	192
Referências Bibliográficas	193
9. Proposta de localização para sistemas de gestão de RU para a microrregião do Entorno do Distrito Federal, Goiás, Brasil.....	199
9.1. Introdução.....	199
9.2. Materiais e métodos	200

9.3. Resultados e discussão	204
9.4. Considerações finais.....	209
Referências bibliográficas.....	210
10. Avaliação ambiental das alternativas tecnológicas para a gestão dos resíduos urbanos no Brasil	213
10.1. Introdução.....	214
10.2. Materiais e métodos	217
10.3. Resultados	231
10.4. Discussão.....	242
10.5. Considerações finais.....	244
Referências Bibliográficas	245
SEÇÃO E – Proposta de sistemas de gestão de RU para municípios de Goiás	251
11. Análise econômica de um sistema de gestão de resíduos urbanos para municípios de pequeno porte populacional.....	253
11.1. Introdução.....	254
11.2. Materiais e métodos	255
11.3. Resultados e discussão	266
11.4. Considerações finais.....	278
Referências bibliográficas.....	280
12. Análise econômica de um sistema partilhado de gestão de resíduos urbanos para uma região metropolitana	287
12.1. Introdução.....	287
12.2. Materiais e métodos	289
12.3. Resultados e discussão	306
12.4. Considerações finais.....	326
Referências bibliográficas.....	327
13. Avaliação do ciclo de vida de um sistema partilhado de gestão de resíduos urbanos para uma região metropolitana	337
13.1. Introdução.....	337
13.2. Materiais e métodos	340
13.3. Resultados e discussão	357
13.4. Considerações finais.....	370

Referências bibliográficas.....	371
SECÇÃO F – Conclusões da tese e sugestões para estudos futuros.....	381
14. Principais conclusões e sugestões para trabalhos futuros.....	383
14.1. Conclusões e recomendações	383
14.2. Limitações e sugestões para estudos futuros.....	386
ANEXOS (em formato digital)	
Anexo A – Avaliação de riscos ocupacionais associados à atividade dos catadores de materiais recicláveis: estudo de caso no município de Anápolis, Goiás, Brasil	
Anexo B – Utilização de um sistema de informação geográfica na identificação de áreas para a instalação de sistemas de gestão de resíduos urbanos	
Anexo C – Proposta de sistemas de gestão de resíduos urbanos para os municípios do Estado de Goiás, Brasil	
Anexo D – Avaliação ambiental das alternativas tecnológicas para a gestão dos resíduos urbanos no Brasil	
Anexo E – Análise económica de um sistema de gestão de resíduos urbanos para municípios de pequeno porte populacional	
Anexo F – Análise económica de um sistema partilhado de gestão de resíduos urbanos para uma região metropolitana	
Anexo G – Avaliação do ciclo de vida de um sistema partilhado de gestão de resíduos urbanos para uma região metropolitana	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Estado de Goiás, Brasil.....	4
Figura 1-2: Estrutura da tese em seis secções.....	9
Figura 2-1: Mapeamento dos municípios com sistemas de deposição final licenciados e não licenciados pela SECIMA/GO no Estado de Goiás em 2015.....	18
Figura 2-2: Localização do aterro licenciado e central de triagem de Anápolis, Goiás.	20
Figura 3-1: Localização geográfica do aterro controlado do município de Goiânia.	40
Figura 3-2: Dinâmica da população por situação de domicílio no Brasil de 1940 a 2010..	45
Figura 3-3: Município de Goiânia segundo divisão em Macrozonas. Detalhe em destaque: aterro.	49
Figura 3-4: Ortofotografia do aterro de Goiânia e loteamentos residenciais vizinhos.	51
Figura 3-5: Ortofotografia da área do aterro referente ao ano de 2006.	54
Figura 3-6: Ortofotografia da área do aterro referente ao ano de 2015.	55
Figura 4-1: Árvore de decisões para aplicar os testes estatísticos.	68
Figura 4-2: Função de ajuste dos valores de geração <i>per capita</i> de resíduos urbanos determinados em pesquisas científicas para o Estado de Goiás.	72
Figura 4-3: Histogramas da geração <i>per capita</i> de RU em Goiás em 2013, por faixa populacional.	75
Figura 4-4: Diagrama de dispersão (DD) e as linhas de tendência da geração <i>per capita</i> de resíduos urbanos em relação à população.....	79
Figura 5-1: Quantitativos populacionais nos municípios goianos em 2040.....	97
Figura 5-2: Estimativas da produção de resíduos urbanos ($t \cdot dia^{-1}$) com base nas <i>Projeções 1</i> (a) e 2 (b), por região de planejamento do Estado de Goiás, em 2040.....	100
Figura 5-3: Rota tecnológica dos RU produzidos ($em t \cdot ano^{-1}$) no Estado de Goiás em 2015, de acordo com as estimativas para a <i>Projeção 1</i>	103
Figura 5-4: Rota tecnológica dos RU produzidos ($em t \cdot ano^{-1}$) no Estado de Goiás em 2015, de acordo com as estimativas para a <i>Projeção 2</i>	104
Figura 6-1: Destino direto dos resíduos urbanos em Portugal.	118
Figura 7-1: Regiões de planejamento do Estado de Goiás.	141
Figura 7-2: Diagrama das fases de elaboração do mapa das áreas disponíveis para instalação de aterros em Goiás.	146

Figura 7-3: Mapa de restrições das áreas urbanas de Goiás em 2010 e 2040, e atuais aterros e lixeiras em Goiás.	149
Figura 7-4: Mapa de restrições quanto à declividade do terreno, e atuais aterros e lixeiras em Goiás.	150
Figura 7-5: Mapa de restrições dos cursos de água, e atuais aterros e lixeiras em Goiás.	151
Figura 7-6: Mapa de restrições quanto às UC, terras quilombolas e terras indígenas, e atuais aterros e lixeiras em Goiás.	152
Figura 7-7: Mapa de restrição quanto aos aeródromos, e atuais aterros e lixeiras em Goiás.	153
Figura 7-8: Áreas restritas, sujeitas a aprovação ou livres para instalação de aterros em Goiás..	154
Figura 7-9: Mapa de áreas livres de restrições para instalação de aterros em Goiás, em 2040.	157
Figura 7-10: Mapa da deposição final de resíduos urbanos no Estado de Goiás.	158
Figura 8-1: 18 microrregiões do Estado de Goiás, Brasil.	171
Figura 8-2: Exemplificação do deslocamento rodoviário dos RU até os SGRU propostos para as microrregiões do Estado de Goiás.	176
Figura 8-3: 37 centros de massa para a localização dos SGRU para o Estado de Goiás.	179
Figura 8-4: Municípios-sede dos SGRU propostos para Goiás.	181
Figura 8-5: Centro urbano do município de Cabeceiras, Goiás, que está a uma distância superior a 100 km dos SGRU dos municípios vizinhos.	182
Figura 8-6: Rodovias que ligam o município de Bonópolis, Goiás, com outros municípios goianos sem pavimentação asfáltica.	183
Figura 8-7: Municípios-sede dos sistemas de gestão de resíduos urbanos e das estações de transferência propostos para o Estado de Goiás, por microrregião.	187
Figura 8-8: Municípios-sede e municípios não sede dos sistemas de gestão de resíduos urbanos e das estações de transferência propostos para o Estado de Goiás.	188
Figura 8-9: Quantitativo de municípios que serão atendidos nos 46 sistemas de gestão de resíduos urbanos propostos para o Estado de Goiás.	190
Figura 8-10: Estimativa da população que será atendida (habitantes), em 2021, nos 46 sistemas de gestão de resíduos urbanos propostos para o Estado de Goiás.	191
Figura 8-11: Quantitativos de RU (t·dia ⁻¹) que serão tratados nos 46 SGRU propostos para o Estado de Goiás, de acordo a estimativa da produção de RU para 2021.	192
Figura 9-1: Sistemas de gestão de resíduos urbanos propostos para a microrregião do EDF.	206

Figura 9-2: Áreas livres, sujeitas a aprovação e restritas para a instalação de sistemas de deposição final de RU nos 16 municípios que integrarão os SGRU propostos para a microrregião do <i>EDF</i>	208
Figura 10-1: Resultados líquidos normalizados da <i>Classe 1</i> em miliequivalentes de pessoa (mPE).....	235
Figura 10-2: Resultados líquidos normalizados da <i>Classe 2</i> em miliequivalentes de pessoa (mPE)....	237
Figura 10-3: Resultados líquidos normalizados da <i>Classe 3</i> em miliequivalentes de pessoa (mPE)....	240
Figura 10-4: Resultados da análise de sensibilidade, em $\text{kgCO}_2\text{eq}\cdot\text{t}^{-1}$, para a categoria de impacto potencial de aquecimento global (<i>GWP100</i>).	241
Figura 10-5: Impacto médio da gestão de RU recolhido no Brasil, em 2016 (17% para lixeiras, 25% para aterro controlado e 54% para aterro licenciado sem recuperação de biogás).	242
Figura 11-1: Microrregião da <i>Chapada dos Veadeiros</i> , Goiás, Brasil.	256
Figura 11-2: Áreas livres, sujeitas a aprovação e restritas para instalação de aterros nos municípios	267
Figura 11-3: Sistemas de gestão de RU centralizado (a) e descentralizado (b) propostos para atender aos municípios de Campos Belos e de Monte Alegre de Goiás.	268
Figura 11-4: Desvios dos materiais recicláveis nos cenários pessimista, moderado e otimista, de 2021 a 2040 (tendo em conta os refugos dos sistemas de separação de resíduos).....	269
Figura 11-5: Desvios dos biorresíduos para os cenários pessimista, moderado e otimista, de 2021 a 2040.....	270
Figura 11-6: Sistema de gestão de RU centralizado, cenário otimista, meta de desvio de 2031.	271
Figura 11-7: Sistema de gestão de RU descentralizado, cenário otimista, meta de desvio de 2031..	272
Figura 11-8: Comparação dos custos de investimento e operação de 2020 a 2040 de um SGRU descentralizado <i>versus</i> um SGRU centralizado – cenário otimista.	275
Figura 12-1: Arranjo institucional do modelo de gestão de RU proposto para os 19 municípios situados junto à capital do Estado de Goiás.....	290
Figura 12-2: Mapa de áreas livres, sujeitas a aprovação ou restritas para a instalação de sistemas de deposição final de RU nos 19 municípios que integram o SGRU proposto. .	308
Figura 12-3: Sistema de gestão de resíduos urbanos proposto para 19 municípios situados junto à Goiânia, capital do Estado de Goiás.	309
Figura 12-4: Mapa dos aterros de Aparecida de Goiânia (a), Bonfinópolis (b) , Hidrolândia (c) e Senador Canedo (d) dentro de áreas restritas para a instalação de sistemas de deposição final de RU.	310
Figura 12-5: Balanço mássico previsto para o SGRU proposto para 2040, cenário otimista..	314

Figura 12-6: Valor acumulado extrapolado ao longo dos 20 anos de projeto, com a Taxa Interna de Rendibilidade (TIR) igual a 0% – cenário otimista.....	317
Figura 12-7: Custos mensais por habitante no ano de 2021 para cada um dos 19 municípios avaliados – cenário otimista (TIR 0%).	319
Figura 12-8: Custos mensais por habitante no ano de 2040 para cada um dos 19 municípios avaliados – cenário otimista (TIR 0%).	320
Figura 12-9: Custos mensais por habitante no ano de 2040 para cada um dos 19 municípios avaliados – cenário otimista (TIR 6,5%).	321
Figura 12-10: Custos mensais por habitante no ano de 2040 para cada um dos 19 municípios avaliados – cenário otimista (TIR 8%).	322
Figura 12-11: Custos mensais por habitante no ano de 2040 para cada um dos 19 municípios – cenário otimista (TIR 0% com 10% de acréscimo nos custos).....	323
Figura 12-12: Custos mensais por habitante no ano de 2040 para os seis municípios com compostagem comunitária no SGRU proposto (TIR 0%).	325
Figura 13-1: Produção de RU em 2015 nos 19 municípios do SGRU proposto.	339
Figura 13-2: Modelo de gestão atual de RU nos 19 municípios avaliados – produção de RU em 2015.	341
Figura 13-3: Sistema de gestão de RU proposto para os 19 municípios de Goiás.	358
Figura 13-4: Resultado da ACV, em 2040, dos cenários avaliados para os 19 municípios de Goiás (resultados normalizados e em miliequivalentes de pessoa – mPE).	363
Figura 13-5a: Emissões e economias dos processos avaliados para os cenários CA, CO–CC e CO–DA _{via seca} , em 2040 (resultados normalizados e em miliequivalentes de pessoa – mPE)	365
Figura 13-5b: Emissões e economias dos processos avaliados para os cenários CA, CO–CC e CO–DA _{via seca} , em 2040 (resultados normalizados e em miliequivalentes de pessoa – mPE).	366
Figura 13-6: Análise de sensibilidade para as distâncias da triagem para a reciclagem nos cenários atual, pessimista, moderado e otimista, em 2040 (resultados normalizados e em miliequivalentes de pessoa – mPE).	368
Figura 13-7: Análise de sensibilidade comparativa DA _{via seca} versus DA _{via húmida} para os cenários pessimista, moderado e otimista, em 2040 (resultados normalizados e em miliequivalentes de pessoa – mPE)	369

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1: Panorama da deposição final de RU no Estado de Goiás entre 2004 e 2015.....	5
Tabela 2-1: Magnitude do risco, índice do risco e prioridade de intervenção, pelo método da Matriz Composta.	23
Tabela 2-2: Magnitude do risco, índice do risco e prioridade de intervenção, pelo método de William T. Fine.....	24
Tabela 2-3: Riscos ocupacionais a que estão sujeitos os <i>catadores</i> de materiais recicláveis de Anápolis/GO.	25
Tabela 2-4: Avaliação de riscos no aterro controlado e na central de triagem de Anápolis, Goiás, utilizando o método da Matriz Composta.	30
Tabela 2-5: Avaliação de riscos no aterro controlado e na central de triagem de Anápolis, Goiás, utilizando o método de William T. Fine.....	31
Tabela 4-1: Valores de geração <i>per capita</i> de resíduos urbanos, por diferentes faixas populacionais.	71
Tabela 4-2: Número de municípios goianos que responderam ao questionário (em 2013), por faixa populacional.....	72
Tabela 4-3: Geração <i>per capita</i> de resíduos urbanos em 2010 (estimada e questionários), por faixa populacional, para Goiás.	73
Tabela 4-4: Produção total de RU em Goiás em 2013, estimada e fornecida pelos municípios (via questionários).....	74
Tabela 4-5: Estimativa da geração diária de RU em 2013 para as regiões do Estado de Goiás...	76
Tabela 4-6: Teste da normalidade, utilizando-se os testes de <i>Shapiro-Wilk</i> ou de <i>Kolmogorov-Smirnov</i>	77
Tabela 4-7: Médias e medianas de referência utilizadas para os testes <i>t-Student</i> e de <i>Wilcoxon</i>	77
Tabela 4-8: Resultados dos testes <i>t-Student</i> e de <i>Wilcoxon</i>	78
Tabela 4-9: Classificação de dados em função do coeficiente de <i>correlação de Pearson</i>	80
Tabela 4-10: <i>Coeficiente de Pearson</i> e a correlação entre a geração <i>per capita</i> de resíduos urbanos e o número de habitantes.	80
Tabela 4-11: Regressão linear.	81

Tabela 4-12: Análise estatística da geração <i>per capita</i> de RU enviados para a deposição final em municípios com e sem recolha diferenciada de materiais recicláveis, por faixa populacional. ...	82
Tabela 4-13: Análise estatística entre os quantitativos <i>per capita</i> enviados para a deposição final em cidades turísticas e não turísticas, por faixa populacional.	83
Tabela 5-1: Estimativa da geração <i>per capita</i> de RU, por faixa populacional, para Goiás....	94
Tabela 5-2: Quantitativos populacionais do IBGE para o Estado de Goiás de 1980 a 2010.	96
Tabela 5-3: Quadro demográfico das 10 regiões de planejamento do Estado de Goiás.	98
Tabela 5-4: Panorama da recolha de RU, por região de planejamento de Goiás no ano de 2015..	101
Tabela 6-1: Principais documentos legais portugueses e da União Europeia em matéria de RU.	117
Tabela 6-2: Dispositivos legislativos relacionados aos resíduos sólidos no Estado de Goiás.	123
Tabela 6-3: Panorama da deposição final de RU em Goiás entre 2004 e 2015.....	124
Tabela 7-1: Critérios restritivos (e sujeitos a aprovação) para a instalação de aterros em Goiás.	142
Tabela 7-2: Produção de RU em 2015 e 2040 e áreas com restrições, sujeitas a aprovação e livres para instalação e operação de aterro, por região de planejamento de Goiás em 2040.....	156
Tabela 7-3: Quantitativo de aterros licenciados pela SECIMA/GO, por região de planejamento, em áreas com restrições, sujeitas a aprovação e livres para instalação e operação de aterro.	159
Tabela 7-4: Quantitativo de aterros e lixeiras não licenciados pela SECIMA/GO, por região de planejamento, em áreas com restrições, sujeitas a aprovação e livres para instalação e operação de aterro.	160
Tabela 8-1: Critérios restritivos (e sujeitos a aprovação) para a instalação de aterros em Goiás.	173
Tabela 8-2: Áreas com restrições, sujeitas a aprovação e livres para instalação e operação de aterro, por microrregião de Goiás em 2040.	178
Tabela 8-3: Municípios com aterro licenciado pela SECIMA/GO no Estado de Goiás.	180
Tabela 8-4: Microrregião, municípios-sede, estimativa da população, produção de RU e quantitativo de municípios atendidos em cada um dos 46 SGRU propostos para Goiás.....	185
Tabela 9-1: Número de municípios, área, população e produção de resíduos urbanos no Estado de Goiás e na microrregião do <i>Entorno do Distrito Federal</i>	201
Tabela 9-2: Critérios restritivos e sujeitos a aprovação para a instalação de aterros na microrregião do <i>Entorno do Distrito Federal</i>	202

Tabela 9-3: Produção de RU (em t·dia ⁻¹) e áreas (em km ² e em %) com restrições, sujeitas a aprovação e livres para instalação e operação de aterro, na microrregião <i>EDF</i>	205
Tabela 9-4: Municípios-sede dos sistemas de gestão de RU da microrregião do <i>EDF</i>	206
Tabela 9-5: Município-sede, população atendida, produção atual de RU e número de municípios que compõem cada um dos sistemas de gestão de RU para a microrregião do <i>EDF</i>	209
Tabela 10-1: Fatores de normalização ILCD recomendados.	218
Tabela 10-2: Resumo dos cenários avaliados.	220
Tabela 10-3: Caracterização dos resíduos urbanos no Brasil.	221
Tabela 10-4: Veículos de recolha e transporte, distância percorrida e consumos de combustível..	222
Tabela 10-5: Parâmetros utilizados no <i>EASETECH</i> para os aterros.	223
Tabela 10-6: Descrição da tecnologia de tratamento biológico utilizado no estudo.	225
Tabela 10-7: Parâmetros adotados para os processos de tratamento biológico (biogás purificado e combustão não incluídos aqui).	227
Tabela 10-8: Parâmetros adotados para os TMB.	228
Tabela 10-9: Parâmetros e descrição da análise de sensibilidade.	230
Tabela 10-10: Resultados líquidos normalizados em miliequivalentes de pessoa (mPE): potencial de aquecimento global (<i>GWP100</i>), potencial de destruição da camada de ozono (<i>ODP</i>), toxicidade humana, efeitos cancerígenos (<i>HT-CE</i>), toxicidade humana, efeitos não cancerígenos (<i>HT-non CE</i>), material particulado (<i>PM</i>), formação de oxidantes fotoquímicos (<i>POF</i>), acidificação terrestre (<i>TAD</i>), eutrofização terrestre (<i>EPT</i>), eutrofização da água doce (<i>EPF</i>), eutrofização marinha (<i>EPM</i>), ecotoxicidade da água doce (<i>ECF</i>), destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis (<i>DAMR</i>).	233
Tabela 11-1: Metas de desvio de resíduos urbanos dispostos em aterro no Estado de Goiás...	258
Tabela 11-2: Custos de recolha e transporte de RU (extrapolados para 2020).	262
Tabela 11-3: Custos de investimento e operação da compostagem doméstica (extrapolados para 2020).	263
Tabela 11-4: Estimativa dos custos de investimento e operação de uma triagem de materiais recicláveis com operação manual (extrapolados para 2020).	264
Tabela 11-5: Função de custos de instalações de deposição final de RU.	264
Tabela 11-6: Estimativa da produção anual e quantitativos de RU recolhidos e não recolhidos nos municípios de Campos Belos e Monte Alegre de Goiás em 2015.	268

Tabela 11-7: Projeção dos quantitativos de RU que devem ser desviados do aterro entre os anos 2021 e 2040 para os cenários pessimista, moderado e otimista.....	271
Tabela 11-8: Estimativa dos custos totais (R\$) de investimento e operação dos SGRU centralizado e descentralizado propostos para os municípios de Campos Belos e Monte Alegre de Goiás de 2020 a 2040, para os três cenários avaliados.....	273
Tabela 11-9: Estimativa da média de <i>catadores</i> de materiais recicláveis necessários para trabalhar nas centrais de triagem, de 2021 a 2040 para os cenários pessimista, moderado e otimista.	274
Tabela 11-10: Estimativa dos custos médios mensais por domicílio para cobrir os gastos com a operação dos SGRU propostos para Campos Belos e Monte Alegre de Goiás – de 2021 a 2040 (valores extrapolados para 2020).	276
Tabela 11-11: Estimativa das emissões dos GEE pelos veículos da recolha diferenciada de materiais recicláveis de Campos Belos e Monte Alegre de Goiás em uma viagem.....	278
Tabela 12-1: Metas de desvio de resíduos urbanos dispostos em aterro no Estado de Goiás...	292
Tabela 12-2: Custos de investimento e operação da recolha de resíduos, triagem de materiais recicláveis, estação de transferência e compostagem doméstica, extrapolados para 2020. .	301
Tabela 12-3: Funções de custos aproximados de instalações de tratamento e deposição final de resíduos urbanos.....	305
Tabela 12-4: Geração <i>per capita</i> de RU e consumos médios <i>per capita</i> de água e de energia elétrica para os 19 municípios do SGRU proposto, para o ano de 2016.....	306
Tabela 12-5: Metas de desvios de materiais recicláveis e biorresíduos para os cenários pessimista, moderado e otimista de 2021 a 2040.	311
Tabela 12-6: Projeção dos quantitativos de RU que devem ser desviados do aterro e enviados à incineração entre os anos 2021 e 2040 para os cenários pessimista, moderado e otimista.	312
Tabela 12-7: Estimativa do PCI útil dos RU que serão encaminhados à incineração em 2021 e de 2031-2040 (que será constante) para os cenários pessimista, moderado e otimista.	313
Tabela 12-8: Estimativa dos custos totais (em milhões de R\$) de investimento e operação dos SGRU propostos para 19 municípios goianos, de 2020 a 2040, para os três cenários avaliados – valores extrapolados para 2020.....	315
Tabela 12-9: Estimativa dos custos de operação por tonelada da compostagem comunitária e da digestão anaeróbia para o ano de 2040, para o cenário otimista.	316
Tabela 12-10: Estimativa das receitas e dos custos do SGRU proposto, ao longo dos 20 anos de projeto, para os cenários pessimista, moderado e otimista – TIR 0% (extrapolados para 2020). .	318

Tabela 12-11: Estimativa das receitas e dos custos do SGRU proposto, ao longo dos 20 anos de projeto, para os cenários pessimista, moderado e otimista – TIR 0% com 10% de acréscimo nos custos de investimento e operação (extrapolados para 2020).	323
Tabela 13-1: Panorama dos RU em 2015 para os 19 municípios do Estado de Goiás que integram o SGRU proposto.	342
Tabela 13-2: Metas de desvio de resíduos urbanos dispostos em aterro no Estado de Goiás... 345	
Tabela 13-3: Cenários em que foi realizada uma ACV.....	346
Tabela 13-4: Fatores de normalização ILCD recomendados.	348
Tabela 13-5: Caracterização física, teor de humidade e poder calorífico inferior (PCI) estimado dos resíduos urbanos no Estado de Goiás no ano de 2040 – cenário otimista.	349
Tabela 13-6: Parâmetros utilizados na modelação da recolha e transporte de RU.....	351
Tabela 13-7: Caracterização estimada da recolha diferenciada de materiais recicláveis que chegarão à triagem e eficiência do processo, em 2040 – cenário otimista.	352
Tabela 13-8: Parâmetros utilizados na modelação dos processos de tratamento biológico. 354	
Tabela 13-9: Parâmetros utilizados na modelação dos sistemas de deposição final de RU. 356	
Tabela 13-10: Resultados líquidos normalizados das 12 categorias de impacto avaliadas, em 2040 (em miliequivalentes de pessoa – mPE).	361

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas Públicas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACV	Avaliação do ciclo de vida
AGMA	Agência Ambiental de Goiás
AICV	Avaliação do impacto do ciclo de vida
AL	Aterro licenciado
AMTEC	Agência Municipal de Ciência, Tecnologia e Inovação de Goiânia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANL	Aterro não licenciado
APA	Associação Portuguesa do Ambiente
ASA	Área de segurança aeroportuária
BCB	Banco Central do Brasil
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Económico e Social
BREF	Melhores Técnicas Disponíveis da União Europeia para as Indústrias de Tratamento de Resíduos
C	Carbono
CA	Cenário atual
CC	Compostagem comunitária
CD	Compostagem doméstica
CDR	Combustível derivado de resíduos
CE (EC)	Comissão Europeia (<i>European Commission</i>)
CEMAm	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CFC	Clorofluorcarbonetos
CH ₄	Metano
CM	Centro de massa
CMd	Cenário moderado
CMd–CC	Cenário moderado–compostagem comunitária
CMd–DA	Cenário moderado–digestão anaeróbia
C _n	Capacidade nominal
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CO	Cenário otimista

CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ equivalente	Dióxido de carbono equivalente
CO–CC	Cenário otimista–compostagem comunitária
CO–DA	Cenário otimista–digestão anaeróbia
COMURG	Companhia de Urbanização de Goiânia
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Cenário pessimista
CP–CC	Cenário pessimista–compostagem comunitária
CP–DA	Cenário pessimista–digestão anaeróbia
Cr	Crômio
CRDR	Com recolha diferenciada de materiais recicláveis
CSTR	Reator de tanque agitado de fluxo contínuo
CT	Central de triagem
DA	Digestão anaeróbia
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DD	Diagrama de Dispersão
DEFRA	<i>Department for Environment, Food and Rural Affairs</i>
DL	Decreto-Lei
DTU	<i>Technical University of Denmark</i>
EDF ou Entorno do DF	Região do Entorno do Distrito Federal
EEC	<i>European Economic Community</i>
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EM	Estados-Membros
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPI	Equipamento de proteção individual
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
ET	Estação de transferência
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
EUR (€)	Euro
EUROSTAT	Gabinete de Estatísticas da União Europeia
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FESETE	Federação dos Sindicatos dos Trabalhadores Têxteis, Lanifícios, Vestuário, Calçado e Peles de Portugal

FGV/EAESP	Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas
FIEG	Federação das Indústrias do Estado de Goiás
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Económicas
GEE	Gases de efeito de estufa
GNC	Gás natural comprimido
GNL	Gás natural liquefeito
GO	Goiás
Hg	Mercúrio
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário de ciclo de vida
IFC	<i>International Finance Corporation</i>
ILCD	<i>International Reference Life Cycle Data System</i>
IMB	Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconómicos
IN	Instrução Normativa
INE	Instituto Nacional de Estatística
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LFG	Gás de aterro
LX	Lixeira
<i>MATLAB</i>	<i>Matrix Laboratory</i>
MC	Método da Matriz Composta
MCd	Macrozona construída
MCF	Factor de correção do metano
MDS	Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome
<i>MGyn</i>	<i>Metropolitana de Goiânia</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MNS	Município não sede
mPE	Miliequivalente de pessoa
MR	Macrozona rural

MS	Município-sede
N	Nitrogénio
N ₂ O	Óxido nitroso
NBR	Norma Brasileira
NG	Gás natural
NH ₃	Amoníaco
NMVOC	Compostos orgânicos voláteis não metanogénicos [kg·t ⁻¹]
NO _x	Óxidos de nitrogénio [g·t ⁻¹]
NP	Norma Portuguesa
N-Tur	Municípios não turísticos
NURSOL/UFG	Núcleo de Resíduos Sólidos e Líquidos da Universidade Federal de Goiás
OCA	Órgão de controlo ambiental
Pb	Chumbo
PDG	Plano Diretor de Goiânia
PERS	Política Estadual de Resíduos Sólidos
PERSU	Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos
<i>PI</i>	Prioridade de intervenção
PLANARES	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PMCG	Prefeitura Municipal de Campo Grande
PMTM	Prefeitura Municipal de Três de Maio
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Política Nacional de Saneamento Básico
PORDATA	Base de Dados Portugal Contemporâneo
R\$	Real
RD	Recolha diferenciada
ReCESA	Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RTO	Oxidação térmica regenerativa
RU	Resíduo urbano
RUB	Resíduo urbano biodegradável
SA	Sujeita a aprovação
SECIMA/GO	Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura,

	Cidades e Assuntos Metropolitanos
SEGPLAN	Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento
SEMARH/GO	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Goiás
SEMMA/Anápolis	Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Anápolis-GO
SEPIN	Superintendência de Estatística Pesquisa e Informações Socioeconômicas
SEPLAN	Secretaria Municipal de Planejamento e Urbanismo
SGRU	Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos
SIEG	Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIMEHGO	Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNCR	Redução catalítica não-seletiva
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
SO _x	Óxidos de enxofre
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
SRDR	Sem recolha diferenciada de recicláveis
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
ST	Teor de Sólidos Totais
TCM/GO	Tribunal de Contas dos Municípios do Estado de Goiás
TGR	Taxa de gestão de resíduos
TM	Tratamento mecânico
TMB	Tratamento mecânico-biológico
Tur	Municípios turísticos
UC	Unidade de Conservação
UE (EU)	União Europeia (<i>European Union</i>)
UF	Unidade funcional
USD	Dólar americano
US EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
WTF	Método de <i>William T. Fine</i>

NOMENCLATURA

a	Distância do município não sede ao sistema de gestão de resíduos urbanos	[km]
b	Distância do município não sede à estação de transferência	[km]
B	Quantitativo de biorresíduos tratados anualmente na DA	[t·ano ⁻¹]
c	Distância da estação de transferência ao sistema de gestão de resíduos urbanos	[km]
C	Consequência	[-]
$(CH_4)_p$	Relação da geração de CH ₄ da fração orgânica do RU	[Nm ³ ·t ⁻¹]
Cn	Capacidade nominal dos veículos de recolha	[t]
d	Distância do município não sede ao sistema de gestão de resíduos urbanos	[km]
$DAMR$	Destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis	[kg·Sbeq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹]
d_j	Meta de desvio do aterro de cada componente j do RU	[kg de j desviados por kg de j no RU]
E	Exposição ao risco	[-]
ECF	Ecotoxicidade de água doce	[CTUeq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹]
E_l	Energia elétrica produzida	[MWh]
EPF	Eutrofização de água doce	[kg·Peq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹]
EPM	Eutrofização de marinha	[kg·Neq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹]
EPT	Eutrofização terrestre	[mol·Neq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹]
F	Frequência	[-]
FC	Fluxo de Caixa Acumulado	[R\$ – Real]
$f_{j\ sep}$	Fração do componente j separado na fonte	[kg de j separado por kg j no RU]
Ft	Número de veículos de recolha	[unidade]
$GWP100$	Potencial de aquecimento global	[kg·CO ₂ eq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹]
H_0	Hipótese nula	[-]
H_1	Hipótese alternativa	[-]
$HT-CE$	Toxicidade humana, efeitos cancerígenos	[CTUh·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹]

$HT-non\ CE$	Toxicidade humana, efeitos não cancerígenos	$[CTUh \cdot PE^{-1} \cdot ano^{-1}]$
i	Taxa de juros	[-]
IC	Intervalo de confiança	[-]
IR	Índice do risco	[-]
k	Taxa de decaimento de 1ª ordem	[-]
K_a	Coeficiente de crescimento aritmético	[-]
K_d	Coeficiente de taxa decrescente de crescimento	[-]
KS	Teste de <i>Kolmogorov-Smirnov</i>	[-]
Mo	Moda	[-]
N	Número de pessoas afetadas	[-]
n	Tamanho da amostra	[-]
η_b	Rendimento de transformação de gás em eletricidade	[-]
η_i	Rendimento da unidade de incineração	[-]
$\eta_{j\,sep}$	Fração do componente j separado na fonte sem contaminantes	[kg de j separado descontaminado por kg totais de j separado]
n_{td}	Tempo decorrido (anos)	[-]
NV	Quantidade de viagens diárias a serem realizadas por cada veículo de recolha	[-]
ODP	Potencial de destruição da camada de ozono	$[kg \cdot CFC^{-11}eq \cdot PE^{-1} \cdot ano^{-1}]$
P	Probabilidade	[-]
p	Valor- p	[-]
P_0	População no ano do censo t_0	[habitante]
P_1	População no ano do censo t_1	[habitante]
P_2	População no ano do censo t_2	[habitante]
PCI	Poder calorífico inferior	$[MJ \cdot kg^{-1}]$
PCI_{CH_4}	Poder calorífico inferior do CH_4	$[MJ \cdot Nm^{-3}]$
$PCI_{húm}$	Poder calorífico inferior em peso húmido	$[MJ \cdot kg^{-1} \text{ peso húmido}]$
PCI_j	Poder calorífico inferior de cada componente (j) dos RU	[MJ por kg do componente j seco]
PCI_{RF}	Poder calorífico inferior dos resíduos que chegam à incineração	$[MJ \cdot kg^{-1}]$

PCI_{sec}	Poder calorífico inferior em peso seco	[MJ·kg ⁻¹ peso seco]
P_i	Produção média diária de RU de cada município	[t·dia ⁻¹]
PM	Material particulado	[kg·PM2.5eq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹]
P_n	População no ano do censo t_n	[habitante]
POF	Formação de oxidantes fotoquímicos	[kg·NMVOCeq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹]
P_s	Procedimentos e condições de segurança adotados	[-]
P_S	População de saturação	[habitante]
P_{t_a}	População estimada no ano t	[habitante]
P_{t_d}	População estimada, pelo método da taxa decrescente, no ano t	[habitante]
P_{t_e}	População estimada, pelo método exponencial, na data t	[habitante]
P_{t_g}	População estimada, pelo método geométrico, na data t	[habitante]
q	Quantidade de resíduos recolhidos por dia	[t·dia ⁻¹]
r	Correlação de <i>Pearson</i>	[-]
R\$·domicílio ⁻¹ ·mês ⁻¹	Real por domicílio por mês	[-]
R\$ habitante ⁻¹ ·mês ⁻¹	Real por habitante por mês	[-]
R\$·t ⁻¹	Real por tonelada	[-]
R^2	Coeficiente de determinação	[-]
RC	Retorno do Capital	[ano]
r_e	Taxa de crescimento exponencial	[-]
r_g	Taxa de crescimento geométrico	[-]
R_i	Quantitativo de resíduos indiferenciados tratados anualmente na incineração	[t·ano ⁻¹]
R_{MC}	Magnitude do Risco pelo Método da Matriz Composta	[-]
RT	Reserva técnica	[unidade]
R_{WTF}	Magnitude do Risco pelo Método de Willian T. Fine	[-]
S	Severidade	[-]
s	Desvio padrão	[-]
SW	Teste de <i>Shapiro-Wilk</i>	[-]
t	Data na qual se pretende estimar a	[ano]

	população	
$t \cdot \text{ano}^{-1}$	Tonelada por ano	[-]
$t \cdot \text{dia}^{-1}$	Tonelada por dia	[-]
$t \cdot \text{m}^{-3}$	Tonelada por metro cúbico	[-]
$t \cdot \text{mês}^{-1}$	Tonelada por mês	[-]
t_0	Data do primeiro censo disponível	[ano]
t_1	Data do censo no período 1	[ano]
$t^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$	Tonelada por quilômetro	[-]
t_2	Data do censo no período 2	[ano]
<i>TAD</i>	Acidificação terrestre	$[\text{mol} \cdot \text{H}^+ \cdot \text{eq} \cdot \text{PE}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}]$
<i>TIR</i>	Taxa Interna de Rendibilidade	[%]
<i>TMA</i>	Taxa Mínima de Atratividade	[%]
t_n	Data do último censo disponível	[ano]
$t\text{-}S$	Teste <i>t-Student</i>	[-]
<i>VAL</i>	Valor Atual Líquido	[R\$ – Real]
V_F	Valor futuro	[R\$ – Real]
V_P	Valor presente	[R\$ – Real]
<i>W</i>	Teste de <i>Wilcoxon</i>	[-]
w_{Hj}	Fração de humidade no componente <i>j</i> do RU	[kg de H ₂ O por kg de <i>j</i> do RU]
$w_{H_{j\text{res}}}$	Fração de humidade do componente <i>j</i> do RU restante	[kg de H ₂ O por kg de <i>j</i> do RU restante]
$w_{H_{j\text{sep}}}$	Fração de humidade no componente <i>j</i> separado na fonte	[kg de H ₂ O por kg de <i>j</i> separado na fonte]
$w_{H_{\text{rest}}}$	Fração de humidade no RU restante	[kg H ₂ O por kg de RU restante]
w_j	Fração do componente <i>j</i> no RU	[kg resíduo por kg de RU]
$w_{j_{\text{res}}}$	Fração do componente <i>j</i> no RU restante	[kg de <i>j</i> por kg de RU restante]
<i>WMW</i>	Teste de <i>Wilcoxon-Mann-Whitney</i>	[-]
\bar{x}	Média	[-]
\tilde{x}	Mediana	[-]
<i>x</i>	Longitude	[UTM]
<i>y</i>	Latitude	[UTM]
α	Nível de significância	[-]

Δt	Tempo decorrido entre as duas datas de referência dos censos – t_n e t_0	[ano]
θ	Mediana populacional	[-]
μ	Média da população	[-]
σ	Desvio padrão da população	[-]

SECÇÃO A – A proposta de estudo

Na Secção A é apresentado o estudo realizado, que trata da questão da gestão dos resíduos urbanos (RU) no Estado de Goiás, Brasil. Nesta secção é introduzida a temática do estudo (que contempla a justificativa e a relevância do trabalho realizado), os objetivos (geral e específicos) e de que forma a tese está estruturada. A finalidade da Secção A é permitir ao leitor compreender a problemática da gestão dos RU na área estudada e como o trabalho está organizado para a concretização dos objetivos delineados.

1. Apresentação da tese

1.1. Introdução

Atualmente, a gestão dos resíduos urbanos (RU) segue por caminhos distintos nos países desenvolvidos em comparação aos países em desenvolvimento. Nos países desenvolvidos, o modelo de gestão dos RU é focado no conceito de hierarquia de gestão dos resíduos, que consiste na prevenção, reutilização, preparação para reutilização, recuperação e eliminação (EU, 2018). Já nos países em desenvolvimento, em geral, o modelo de gestão dos RU é deficitário, com uma cobertura do serviço de recolha que não abrange toda a população, e com baixos índices de separação na fonte e de valorização desses resíduos, que acabam sendo encaminhados, misturados, para aterros ou lixeiras (Figueiredo, 2012; World Bank, 2012). Consideram-se RU os resíduos produzidos nas habitações, os resíduos dos serviços da limpeza urbana e os resíduos equiparados aos RU que são produzidos por pequenas organizações (Brasil, 2010).

O Brasil, é um exemplo de país em desenvolvimento que apresenta uma deficitária gestão dos seus RU. De acordo com dados da ABRELPE (2017), em 2016 foram produzidas 78,3 milhões de toneladas de RU. Deste quantitativo, cerca de 91% foi recolhido, enquanto que os demais 9% não foram recolhidos e acabaram despejados em terrenos baldios e nas ruas dos municípios, ou queimados a céu aberto (Alfaia, Costa, & Campos, 2017).

Globalmente, dos RU recolhidos nesse ano no Brasil, somente 58,4% foram encaminhados para aterros licenciados (ABRELPE, 2017), sistemas de deposição final onde os resíduos sólidos, de acordo com princípios de engenharia, são compactados e cobertos com uma camada de terra, de modo a minimizar os danos à saúde pública e os impactos no ambiente (ABNT, 1992; Garcia et al., 2015). Os restantes 41,6% dos RU foram depositados em aterros controlados (aterros não licenciados) ou lixeiras. Entendendo-se por aterro controlado os locais em que os RU são lançados em uma vala com ou sem impermeabilização de base e que pode ou não contemplar o controlo e o tratamento de lixiviado. Para evitar a percolação da água da chuva e a proliferação de vetores de doenças, no aterro controlado os RU são cobertos com terra ou resíduos de construção e demolição (Netto & Santos, 2012; Oliveira & Gonçalves, 2015). Já as lixeiras são locais em que os RU são despejados no solo sem quaisquer medidas de controlo para

proteção da saúde pública e do ambiente, assim como não há controle quanto ao tipo ou grau de perigosidade dos resíduos depositados (Nascimento, 2007; Rosa, Paula, Coleone, & Campos, 2017).

Particularizando para o Estado de Goiás, o cenário da gestão do RU é mais preocupante. Goiás situa-se na região Centro-Oeste do país (Figura 1-1) e faz fronteira com outros seis Estados brasileiros (Romero, Marcuzzo, & Cardoso, 2014), sendo que somente 16 dos 246 municípios goianos enviam seus RU para aterros licenciados pela Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos – SECIMA/GO (2015). Isso significa que 93,5% dos municípios goianos não estão a cumprir a Lei n.º 12305/2010, também chamada de Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que estabeleceu como uma das metas a erradicação das lixeiras nos municípios do Brasil até agosto do ano de 2014 (Brasil, 2010).

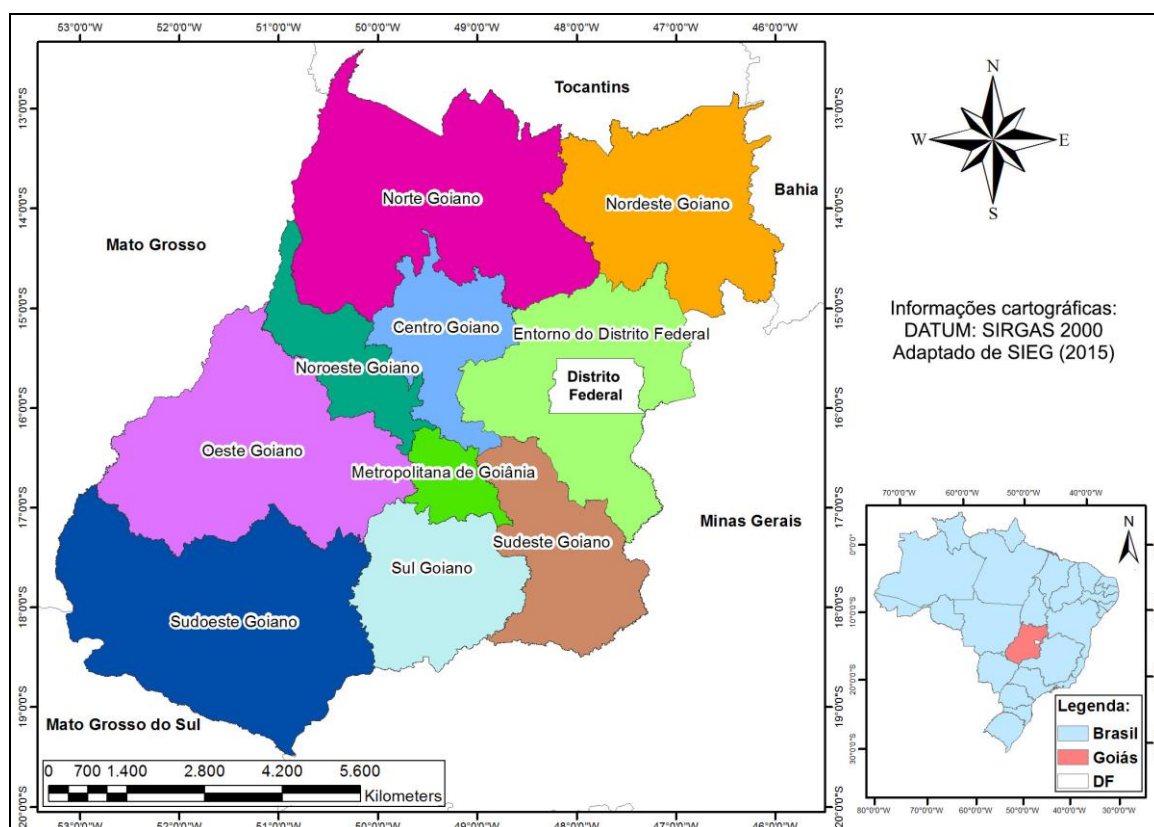


Figura 1-1: Estado de Goiás, Brasil.

Este panorama da gestão dos RU em Goiás perdura, pelo menos, desde 2004 e 2005, anos em que a Agência Ambiental de Goiás (AGMA) realizou o primeiro estudo

acerca dos RU no Estado. Nestes dois anos identificou-se que somente 3,3% dos municípios goianos enviavam seus RU para aterro licenciado (SEMARH/GO, 2013). No ano de 2006 a situação permanecia crítica, mas já havia 5% dos municípios com aterro licenciado (Ferreira, 2006). Entre os meses de agosto de 2008 e abril de 2009 a antiga AGMA, que passou a ser designada Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Goiás (SEMARH/GO), realizou o segundo diagnóstico do panorama dos RU em Goiás. Este estudo apontou que a situação da gestão dos RU havia regredido, pois apenas 3,9% dos municípios possuíam aterro licenciado pela SEMARH/GO (Ferreira & Silva, 2011).

Após instituída a PNRS, em 2010, a expectativa era de que houvesse um avanço na gestão dos RU em Goiás. Entretanto, segundo estudo realizado em 2015 pela SECIMA/GO (nova nomenclatura da SEMARH/GO), chegou-se ao cenário que perdura até os dias atuais (2018), em que há 230 municípios a enviar seus RU para lixeiras ou aterros controlados (SECIMA/GO, 2015).

A evolução da deposição final dos RU em Goiás entre 2004 e 2015 é apresentada na Tabela 1-1, e aponta para um tênue aumento no número de aterros licenciados no Estado. Contudo, houve também um crescimento no número de lixeiras, o que evidencia que, com a obrigatoriedade estabelecida na PNRS para a erradicação destes sistemas, Goiás precisa buscar alternativas para a gestão de seus RU.

Tabela 1-1: Panorama da deposição final de RU no Estado de Goiás entre 2004 e 2015.

Deposição Final	2004-2005 (%)	2006 (%)	2008-2009 (%)	2015 (%)
Lixeira	74,8	69,0	62,9	84,2
Aterro não licenciado	21,9	26,0	33,2	9,4
Aterro licenciado	3,3	5,0	3,9	6,5

Fonte: Adaptado de Ferreira (2006), Ferreira & Silva (2011), SECIMA/GO (2015) e SEMARH/GO (2013).

Além de não ter erradicado os inadequados sistemas de deposição final de RU, as metas de desvios de aterros de resíduos recicláveis secos e de biorresíduos, definidas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), estão longe de serem atingidas. O alcance da recolha diferenciada de materiais recicláveis em Goiás é de cerca de 1,9%. Considerando-se que 70% dos resíduos multimateriais que chegam às centrais de triagem são potencialmente recicláveis, estima-se que somente 1,3% do total de RU recolhido é enviado para a reciclagem (Colvero, Pfeiffer, & Carvalho, 2016). Este valor é menos de

um terço dos 4,1% estabelecidos pelo PLANARES, como meta de desvio de resíduos potencialmente recicláveis, para 2015 em Goiás (MMA, 2012).

Quanto aos biorresíduos, que são os resíduos alimentares dos domicílios, restaurantes, cantinas, escritórios e os resíduos biodegradáveis de parques e jardins (EU, 2018), a situação é ainda mais crítica. Segundo dados de BNDES (2012), a única iniciativa consolidada de valorização dos biorresíduos (que são, portanto, desviados de aterros) ocorre no município goiano de Chapadão do Céu, situado no Sudoeste de Goiás. Neste município há compostagem ao ar livre dos biorresíduos. De acordo com o quantitativo de RU produzido em Goiás para 2015 (Colvero, Gomes, Tarelho, & Matos, 2017), estima-se que a compostagem de Chapadão do Céu desvie de aterro apenas 0,1% do total de RU produzido em Goiás, percentagem muito aquém da meta de desvio desta fração do RU estabelecida pelo PLANARES para 2015, que deveria ser 8,4% do total de RU (MMA, 2012).

Diante do atual cenário dos RU em Goiás, fica evidente a necessidade de um plano estratégico para a gestão destes resíduos no Estado. Além disso, a legislação brasileira estabelece diretrizes para a gestão dos RU, assim como metas de desvios destes resíduos dos sistemas de deposição final, metas essas, que estão longe de serem cumpridas pelos municípios goianos. Deste modo, torna-se necessário fazer uma criteriosa avaliação acerca da gestão atual e futura dos RU de Goiás, com o intuito de auxiliar os gestores públicos na tomada de decisões.

1.2. *Objetivo*

O presente estudo teve por objetivo geral propor futuros sistemas de gestão de resíduos urbanos (SGRU) para o Estado de Goiás, Brasil, apoiados em instrumentos de avaliação de aspectos econômicos, ambientais e sociais, à luz dos atuais princípios para a gestão dos resíduos sólidos, e da legislação brasileira para estes resíduos.

A concretização deste objetivo passou pela necessidade de alcançar os seguintes objetivos específicos:

1.2.1. *Objetivos específicos*

- Apresentar casos de estudo que apontem o panorama atual da gestão dos RU nalguns municípios do Estado de Goiás, de modo a justificar a importância deste trabalho;
- Caracterizar os municípios do Estado de Goiás relativamente à produção de RU, estimando a geração *per capita* destes resíduos para os municípios goianos;

- Escrutinar o suporte legal, através da identificação e análise dos documentos legais do Estado de Goiás, do Brasil e da Europa, relativos à gestão do RU;
- Considerar os vários processos de gestão dos RU no mundo, e estabelecer aqueles que, preferencialmente, possam ser utilizados no Brasil, à luz de uma avaliação do ciclo de vida (ACV);
- Identificar áreas livres e restritas para a instalação de sistemas de deposição final de RU no Estado de Goiás;
- Propor futuros sistemas de gestão do RU, preferencialmente partilhados, para os 246 municípios goianos;
- Avaliar, do ponto de vista económico e ambiental, um sistema de gestão partilhado entre municípios goianos de pequeno porte populacional, contemplando diferentes modelos para a valorização do RU;
- Avaliar, do ponto de vista económico, ambiental e social, um sistema de gestão partilhado entre municípios goianos de uma região metropolitana, contemplando diferentes alternativas para a valorização do RU.

1.3. *Estrutura da tese*

Para melhor organização e compreensão, a tese foi estruturada em seis secções, conforme apresentado na Figura 1-2:

- Na Secção A é realizada uma apresentação do estudo, introduzindo a sua temática, que contempla a justificativa, a relevância do estudo, os objetivos e a estrutura da tese.

Nas Secções B a E estão apresentadas, em formato de artigos científicos, os estudos desenvolvidos durante a tese para um município ou um conjunto de municípios do Estado de Goiás. Estes artigos, que são independentes entre si, apresentam o estado da arte e as metodologias utilizadas para atingir os objetivos propostos na tese.

- Na Secção B estão apresentados dois casos de estudo acerca dos RU em municípios de Goiás, sendo que o primeiro estudo retrata a gestão destes resíduos no município de Anápolis e o segundo estudo trata da localização em que está instalado o aterro de Goiânia, município que é capital do Estado. Estes estudos permitem compreender o panorama dos RU nos municípios de Goiás, de forma a justificar o porquê da realização de propostas de futuros SGRU.

- Na Secção C estão apresentados três estudos que serviram de base para os SGRU que foram propostos para os municípios do Estado de Goiás: dois estudos referem-se às estimativas atuais e futuras da geração *per capita* e produção de RU nos municípios goianos, e o terceiro estudo tratou da legislação existente no Brasil, Goiás e Europa acerca destes resíduos.

- Na Secção D da tese estão contemplados quatro estudos que delinearam a proposta dos futuros SGRU para o Estado de Goiás. No primeiro foram identificadas as áreas, onde, de acordo com a regulamentação brasileira, será permitida a instalação de sistemas de deposição final de RU em Goiás. Seguidamente, foram identificados os possíveis locais para a construção de futuros SGRU propostos para o Estado, de acordo com a distribuição espacial de geração de RU. Numa terceira etapa trabalhou-se sobre os municípios goianos que se situam na microrregião do *Entorno do Distrito Federal* e a forma como eles poderão vir a se organizar no sentido de partilhar os mesmos SGRU. Por fim, realizou-se uma avaliação de diferentes cenários relativos à gestão dos RU no Brasil, aplicando uma ferramenta de ACV, de forma a obter uma linha orientadora para o cenário atual da gestão dos RU no país e as principais tecnologias de tratamento de RU utilizadas no mundo, e que possam vir a ser utilizadas no Brasil, nomeadamente no Estado de Goiás.

- Na Secção E estão apresentados três estudos, que não abrangendo todo o Estado de Goiás, se focam em duas diferentes regiões que traduzem a diversidade de densidade populacional do Estado. Desta forma, estes exercícios de alternativas para a gestão dos RU de Goiás representam exemplos que podem ser replicados para outras regiões do Estado, com características semelhantes. No primeiro estudo foi feita uma análise económica e ambiental para a gestão de RU em dois municípios com baixa densidade populacional – que é o caso de 224 dos 246 municípios de Goiás – procurando apontar possíveis alternativas para a gestão dos RU para os municípios goianos com características demográficas semelhantes. O segundo e o terceiro estudos contemplaram uma análise económica e ambiental de um futuro SGRU proposto para 19 municípios de uma região metropolitana de Goiás, que juntos produzem mais de 43% dos RU do Estado.

- Por fim, na Secção F fizeram-se as considerações finais acerca das análises e resultados obtidos ao longo do estudo, e apresentadas proposições para estudos futuros.

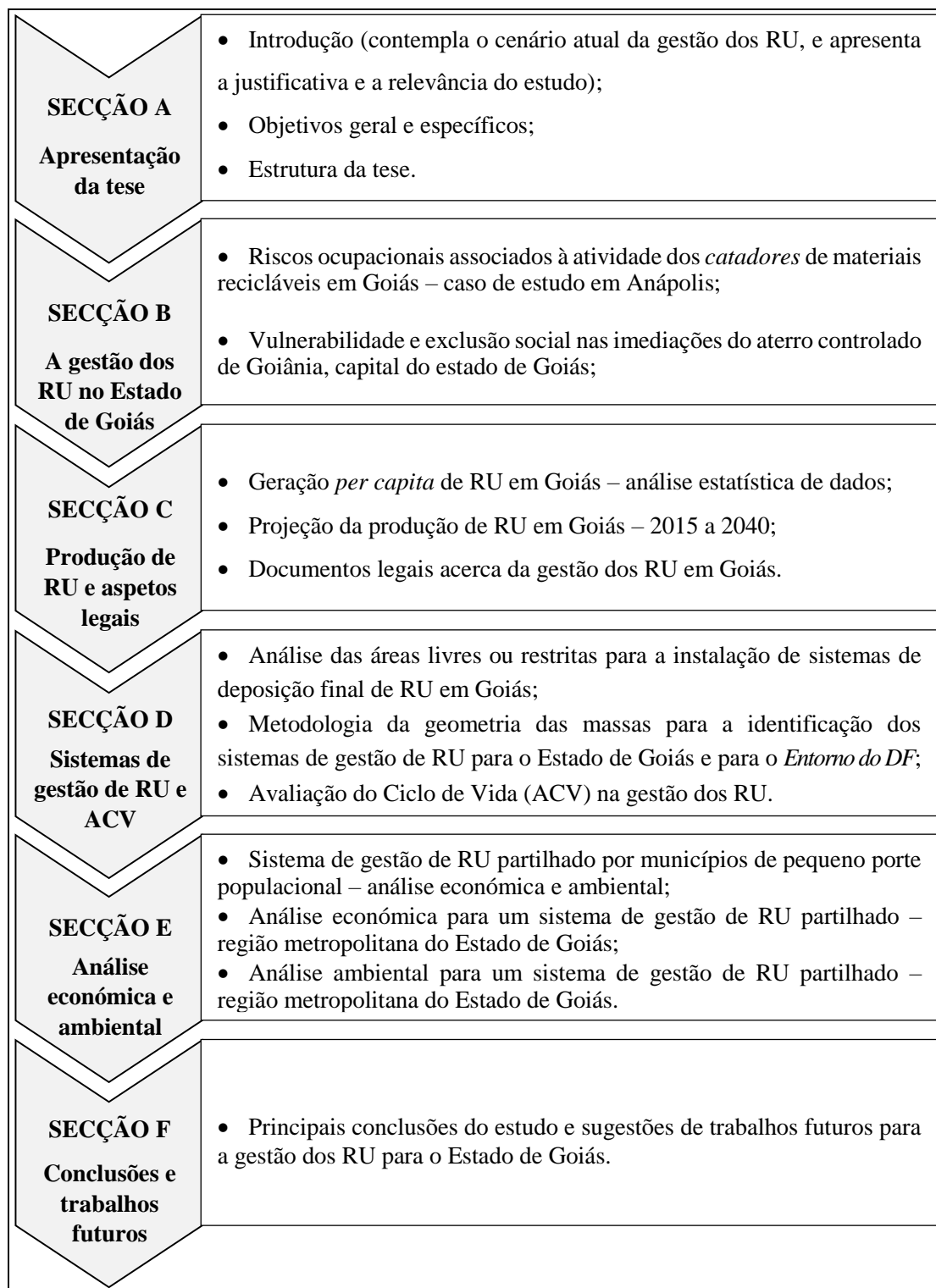


Figura 1-2: Estrutura da tese em seis secções.

1.4. Produção científica no âmbito da tese

As informações globais dos estudos apresentados nas Secções B a E desta tese foram publicadas ou submetidas em revistas científicas com revisão por pares ou em conferências, conforme referidos a seguir:

1.4.1. Artigos publicados em revistas científicas:

Colvero, D. A., Almeida, M. G. de, Gomes, A. P., & Pfeiffer, S. C. (2017). Aterro sanitário de Goiânia: uma identidade territorial e a vulnerabilidade e exclusão social da população do seu entorno. *Revista Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, 14(2), 3–20.

Colvero, D. A., & Souza, S. M. de. (2016). Avaliação de riscos ocupacionais aos catadores de materiais recicláveis: estudo de caso no município de Anápolis, Goiás, Brasil. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 12(26), 161–177. <https://doi.org/10.3895/rts.v12n26.4518>

Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. (2017). Municipal solid waste in Goiás (Brazil): current scenario and projections for the future. *Journal of Sedimentary Environments*, 2(3), 236–249. <https://doi.org/10.12957/jse.2017.31131>

Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., Matos, M. A. A. de, & Santos, K. A. dos. (2018). Use of a geographic information system to find areas for locating of municipal solid waste management facilities. *Waste Management*, (77), 500–515. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.036>

Colvero, D. A., Gomes, A. P., Matos, M. A. de, & Nunes, M. I. (2017). A gestão dos resíduos sólidos urbanos e a legislação: uma análise do caso de Portugal e as contribuições para do Estado de Goiás, Brasil. *Sodebrás*, 12(139), 148–157. Retrieved from <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N139.pdf>

Colvero, D. A., Pfeiffer, S. C., Carvalho, H. E. de, & Gomes, A. P. D. (2017). Avaliação da geração de resíduos sólidos urbanos no Estado de Goiás, Brasil: análise estatística de dados. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – RESA*, 22(51), 931-941. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017159448>

Lima, P. D. M., Colvero, D. A., Gomes, A. P., Wenzel, H., Schalch, V., & Cimpanb, C. (2018). Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil. *Waste Management*, (78), 857–870. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.007>

1.4.2. Artigo publicado em capítulo de livro:

Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., Matos, M. A. de, & Santos, K. A. (2017). Proposal for MSW management facilities location in a state of Brazil. In M. de L. L. Cândida Vilarinho, Fernando Castro (Ed.), *WASTES - Solutions, Treatments and Opportunities II* (pp. 105–111). London, UK: Taylor & Francis Group.

1.4.3. Artigo aceite para publicação em revista científica:

Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. (2018). Proposal of an integrated municipal solid waste management (MSW) facilities for small municipalities. Artigo aceite para publicação no *The Journal of Solid Waste Technology and Management* em Agosto de 2018.

1.4.4. Artigos submetidos em revistas científicas:

Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., Matos, M. A. A. de, & Ramalho, J. C. M. Analysis of a municipal solid waste management facility proposed for small municipalities. Submetido na *Revista Utilities Policy*, Abril de 2018.

Colvero, D. A., Ramalho, J. C. M., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. Economic analysis of shared management of municipal solid waste in a metropolitan region. Submetido na *Revista Waste Management*, Julho de 2018.

Colvero, D. A., Ramalho, J. C. M., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. Life cycle assessment of shared MSW management facilities in a metropolitan region. Submetido na *Revista Environment, Development and Sustainability*. Agosto de 2018.

1.4.5. Artigos publicados em conferências científicas:

Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. de. (2017). Definição dos municípios-sede dos sistemas de gestão de resíduos urbanos no Estado de Goiás, Brasil. In *10th International Technical Waste Conference*. Porto, Portugal: APESB – Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Colvero, D. A., Gomes, A. P., Tarelho, L. A., & Matos, M. A. de. (2018). Custos de um sistema de gestão de resíduos urbanos para municípios de pequeno porte. In J. L. Ana Isabel Miranda, Myriam Lopes, Luís Tarelho, Filomena Martins, Peter Roebeling, Margarida Coelho (Ed.), *Conferência Internacional de Ambiente em Língua Portuguesa, XX Encontro da Rede de Estudos Ambientais de Países de Língua Portuguesa XI Conferência Nacional do Ambiente*. Aveiro, Portugal: Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro. (pp. 22–32). ISBN 978-972-789-540-3.

Colvero, D. A., Oliveira, A. D., Hora, K. E. R., & Pfeiffer, S. C. (2015). Desafios da gestão urbana na seleção de áreas para a implantação de aterros sanitários: um olhar sobre o município de Goiânia, Brasil. In *Book of Extended Abstracts of the Congress Challenges on Waste in a Circular Economy: 9.th International Technical Conference on Waste 2015* (pp. 175–187).

Colvero, D. A., Ramalho, J. C. M., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. Análise económica de um sistema de gestão de resíduos urbanos partilhado no Estado de Goiás, Brasil. In: *18.º Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENASB) e o 18.º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SILUBESA)*.

Referências bibliográficas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). *NBR 8.419: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos*. Rio de Janeiro.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2017). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016*. <https://doi.org/ISSN 2179-8303>

- Alfaia, R. G. de S. M., Costa, A. M., & Campos, J. C. (2017). *Municipal solid waste in Brazil: A review*. Waste Management & Research, 0734242X1773537. <https://doi.org/10.1177/0734242X17735375>
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2012). Produto 5: Núcleo Centro-Oeste. Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Recife: FADE.
- Brasil. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. (2010). Brasília, DF: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. (2017). Municipal solid waste in Goiás (Brazil): current scenario and projections for the future. *Journal of Sedimentary Environments*, 2(3), 236–249. <http://doi.org/10.12957/jse.2017.31131>
- Colvero, D. A., Pfeiffer, S. C., & Carvalho, E. H. de. (2016). Materiais recicláveis provindos dos resíduos urbanos: caso de estudo para o estado de Goiás, Brasil. In P. J. Ramísio, G. A. Lopes, L. M. C. Pinto, F. Leite, & M. J. Rosa (Eds.), *A Engenharia Sanitária nas Cidades do Futuro: Livro de Comunicações do 17.o Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental/ENASB* (pp. 713–720). Lisboa.
- EU – European Union. (2018). *European Parliament and of the Council. Directive 2018/851/EC of 30 may 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste*. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=PT>
- Ferreira, O. M. (2006). Diagnóstico do monitoramento dos projetos de disposição de lixo urbano nos municípios goianos. Goiânia/GO: Agência Goiana de Meio Ambiente – AGMA. Retrieved from http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/rsudoutrina_06.pdf
- Ferreira, O. M., & Silva, K. A. (2011). Diagnóstico da disposição final de resíduos sólidos urbanos no estado de Goiás. *Estudos*, 38(2), 227–233. Retrieved from <http://seer.ucg.br/index.php/estudos/article/download/2254/1391>
- Figueiredo, F. F. (2012). Similitudes na gestão dos resíduos sólidos urbanos em países centrais e periférico. *Revista Bibliográfica de Geografía Y Ciencias Sociales*, 17. Retrieved from <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-975.htm>
- Garcia, M. B. dos S., Lanzellotti Neto, J., Mendes, J. G., Xerfan, F. M. de F., Vasconcellos, C. A. B. de, & Friede, R. R. (2015). Resíduos sólidos: responsabilidade compartilhada. *Semioses*, 9(2), 77–91. <https://doi.org/10.15202/1981996X.2015v9n2p77>
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2012). *Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PLANARES*. Brasília/DF. Retrieved from http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657
- Nascimento, J. C. F. do. (2007). *Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos*. Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.18.2007.tde-10082007-132150>

- Netto, C. R. B., & Santos, H. I. (2012). Avaliação da Operação do Aterro Sanitário de Catalão – Goiás. Univ. Católica Goiás. Pontifícia Universidade Católica de Goiás - PUC/GO.
- Oliveira, M. A. de, Gonçalves, N. da S., (2015). *Estudo comparativo entre o aterro sanitário de Samambaia x lixão da Estrutural*. Universidade Católica de Brasília.
- Romero, V., Marcuzzo, F. F. N., & Cardoso, M. R. D. (2014). Tendência do número de dias de chuva no Estado do Tocantins e a relação dos seus extremos com o índice oceânico Niño. *Boletim de Geografia*, 32(1), 1.
<http://doi.org/10.4025/bolgeogr.v32i1.18235>
- Rosa, B. P., Paula, B. C. D. L., Coleone, E. S. D. A., & Campos, F. (2017). *Impactos causados em cursos d'água por aterros controlados desativados no Município de São Paulo, Sudeste do Brasil*. Revista Brasileira de Gestão Ambiental E Sustentabilidade, 4(2359-1412), 63–76.
- SECIMA/GO – Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. (2015). *Nota técnica – aterros sanitários*. Goiânia/GO, Brasil.
- SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás. (2013). *Plano Estadual de Resíduos Sólidos – diagnóstico preliminar*. Goiânia/GO.
- World Bank. (2012). What a Waste. A Global Review of Solid Waste Management. Urban Development & Local Government Unit. Washington. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25270340>

SECÇÃO B – O cenário atual da gestão dos RU em municípios de Goiás

Na Secção B estão compreendidos dois casos de estudo que apresentam o cenário atual (CA) da gestão dos resíduos urbanos (RU) em dois municípios do Estado de Goiás. A finalidade destes estudos foi apontar o quão necessário é a elaboração de propostas para a implementação de futuros sistemas de gestão de resíduos urbanos (SGRU) nos municípios de Goiás, tendo em vista que o CA, além de não atender na plenitude o estabelecido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), pode estar a causar danos para a saúde pública e para o ambiente.

O primeiro estudo retrata o panorama da gestão dos RU no município goiano de Anápolis, que possui um aterro licenciado pela Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos – SECIMA/GO, e tem recolha diferenciada de materiais recicláveis secos (que são encaminhados para uma central de triagem operada por *catadores*). Já o segundo estudo apresenta a situação do aterro não licenciado pela SECIMA/GO existente no município de Goiânia, capital de Goiás e com a mais elevada densidade populacional do Estado.

As informações apresentadas nesta secção foram adaptadas a partir das seguintes publicações:

Colvero, D. A., Almeida, M. G. de, Gomes, A. P., & Pfeiffer, S. C. (2017). Aterro sanitário de Goiânia: uma identidade territorial e a vulnerabilidade e exclusão social da população do seu entorno. *Revista Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, 14(2), 3–20.

Colvero, D. A., & Souza, S. M. de. (2016). Avaliação de riscos ocupacionais aos catadores de materiais recicláveis: estudo de caso no município de Anápolis, Goiás, Brasil. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 12(26), 161–177. <https://doi.org/10.3895/rts.v12n26.4518>

Colvero, D. A., Oliveira, A. D., Hora, K. E. R., & Pfeiffer, S. C. (2015). Desafios da gestão urbana na seleção de áreas para a implantação de aterros sanitários: um olhar sobre o município de Goiânia, Brasil. In *Book of Extended Abstracts of the Congress Challenges on Waste in a Circular Economy: 9.th International Technical Conference on Waste 2015* (pp. 175–187).

2. Avaliação de riscos ocupacionais associados à atividade dos *catadores* de materiais recicláveis: estudo de caso no município de Anápolis, Goiás, Brasil

Resumo: O Estado de Goiás, Brasil, tem dificuldades em gerir seus resíduos urbanos (RU). Dos 246 municípios goianos, apenas 16 enviam seus RU para aterros licenciados, sendo que os demais municípios despejam seus RU em aterros controlados ou lixeiras. Este cenário coloca em risco o ambiente e a saúde das pessoas. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi realizar uma avaliação dos riscos que os *catadores* de materiais recicláveis de Anápolis, Estado de Goiás (Brasil), estão expostos na atividade de apanha de materiais potencialmente recicláveis. Comparou-se os riscos ocupacionais de quando os *catadores* atuavam no antigo aterro controlado do município com o atual local de trabalho, uma central de triagem. Para esta avaliação utilizaram-se os métodos da Matriz Composta e de William T. Fine, metodologias semiquantitativas. Os resultados apontaram que os riscos ergonômicos e psicossociais, como as posturas inadequadas e esforço repetitivo, exigiam a suspensão imediata das atividades dos *catadores* no aterro controlado. De modo que a realocação destes profissionais para a central de triagem minimizou os riscos a que estavam expostos.

Palavras-chave: Avaliação de riscos; métodos semiquantitativos; *catadores* de materiais recicláveis; Anápolis; Estado de Goiás.

2.1. Introdução

Segundo dados da Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos – SECIMA/GO, apenas 15 dos 246 municípios do Estado de Goiás, Brasil, possuem aterro licenciado (SECIMA/GO, 2015). Estes aterros recebem os resíduos urbanos (RU) de 16 municípios goianos (Figura 2-1), pois Cidade Ocidental partilha o seu sistema de deposição final de resíduos com o município vizinho Valparaíso de Goiás (Colvero, Gomes, & Pfeiffer, 2015). Os demais 230 municípios goianos possuem sistemas inadequados de deposição final de RU, estando em desacordo com a Lei n.º 12305/2010, que determinou que até agosto de 2014 todos os municípios brasileiros deveriam ter erradicado as suas lixeiras (Brasil, 2010).

Ritter, Ferreira, Porto, & Lima (2010) mencionam que os locais de deposição final inadequada de RU devem ser encerrados e ter suas áreas recuperadas, uma vez que representam uma constante fonte de poluição ambiental e de potenciais danos para a saúde

humana, sendo que os indivíduos mais afetados são os *catadores*, pessoas que trabalham nesses locais a apanhar materiais potencialmente recicláveis. Anápolis, município do Estado de Goiás, até julho de 2014 possuía um aterro controlado (aterro não licenciado) onde cerca de 80 *catadores* trabalhavam diariamente no maciço de resíduos. Segundo Garcia et al. (2015) e Oliveira & Gonçalves (2015), aterro controlado é um local em que os resíduos sólidos são depositados em uma vala com ou sem impermeabilização de base, e que pode ter tratamento do lixiviado. Além disso, os resíduos são cobertos com terra ou com outro material próprio para cobertura. Em geral, estes sistemas de deposição final são cercados para evitar o acesso de pessoas e animais, situação que não ocorria no aterro controlado de Anápolis.

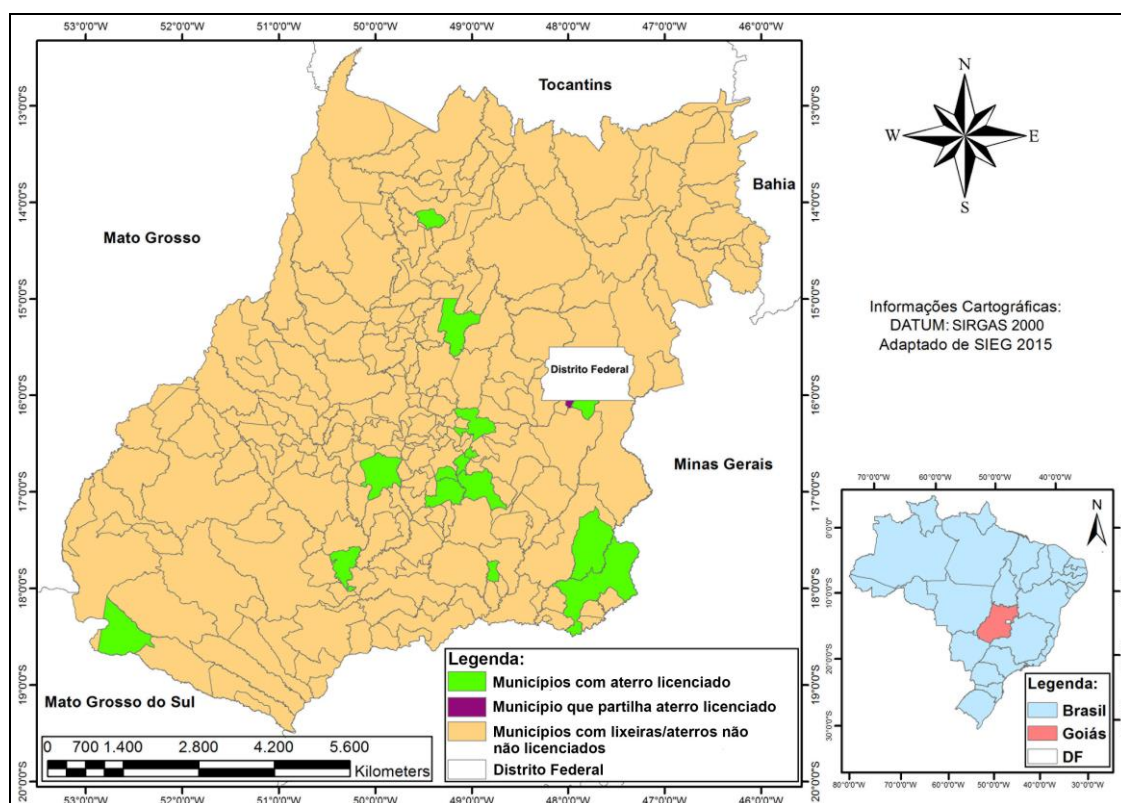


Figura 2-1: Mapeamento dos municípios com sistemas de deposição final licenciados e não licenciados pela SECIMA/GO no Estado de Goiás em 2015.

Esse trabalho no aterro controlado expunha os *catadores* a distintos tipos de riscos ocupacionais (físicos, químicos, biológicos, mecânicos, ergonômicos e psicossociais), sujeitando-os a intoxicações, infecções, fraturas, quedas, atropelamentos, entre outros (Fonseca, Carvalho, Corrêa, & Holanda, 2013). Entretanto, o local de deposição final de RU do município sofreu readequações, passando a ser um dos 15 aterros licenciados pela

SECIMA/GO. Além disso, foi criada uma cooperativa de *catadores* de materiais potencialmente recicláveis e instalada uma central de triagem para estes profissionais, tendo em vista que eles não tiveram mais possibilidade de apanhar materiais no aterro. Todavia, atualmente apenas 12 *catadores* estão trabalhando nesta central. Os demais passaram a recolher os materiais recicláveis nas ruas de Anápolis, nas lixeiras dos municípios vizinhos ou conseguiram empregos formais.

Na teoria, a criação de uma central de triagem trouxe benefícios aos *catadores*. Contudo, para que se possam comparar os riscos ocupacionais aos quais os *catadores* de Anápolis estavam expostos no aterro controlado com os atuais riscos na central de triagem, foi necessária a realização de uma avaliação de riscos. Esta avaliação é uma ferramenta que permite compreender a percepção de situações que causem efeitos indesejáveis na saúde do trabalhador. Além disso, é um instrumento que oferece aos tomadores de decisão elementos para a determinação de estratégias de gestão dos riscos (Freitas, 2002).

Assim, o objetivo deste estudo foi realizar uma avaliação dos riscos ocupacionais a que os *catadores* de Anápolis estão expostos na atividade de apanha de materiais potencialmente recicláveis. Para isso, primeiramente foram identificados os riscos ocupacionais que os *catadores* estão sujeitos, tanto quando atuavam no aterro controlado, ou quando estão a atuar na central de triagem. Seguidamente, foi realizada uma análise comparativa dos riscos do trabalho dos *catadores* no aterro controlado e na central de triagem.

2.2. *Materiais e Métodos*

2.2.1. Área de estudo

Anápolis é um município que se localiza a cerca de 50 km de Goiânia, capital de Goiás, e possuía em 2014 uma população de 336 491 habitantes (IBGE, 2014; Prefeitura de Anápolis, 2015). O aterro do município (sito nas coordenadas geográficas: -16.291358, -48.894939 (SIEG, 2015)), licenciado desde 2014 e com uma área de 31,383 ha, recebeu em 2014 cerca de 285 t·dia⁻¹ de RU (SEMMA/Anápolis, 2015). A área começou a ser utilizada para esse fim em 1998, e encontra-se licenciada para receber os resíduos classe II-A (resíduos não perigosos não inertes) e classe II-B (resíduos não perigosos inertes), além de resíduos de serviço de saúde (SEMMA/Anápolis, 2015). Já a central de triagem (o outro sistema de gestão de RU avaliado neste estudo juntamente com o aterro, conforme apresentado na Figura 2-2), se encontra instalada a 1,4 km do aterro

(coordenadas geográficas: -16.302547, -48.894130 (SIEG, 2015), situa-se num edifício alugado pela Prefeitura Municipal de Anápolis desde agosto de 2014, e está cedido para uso da cooperativa de *catadores*. Este edifício possui cerca de 200 m², e conta com duas prensas enfardadoras hidráulicas, duas balanças para pesagem dos materiais recicláveis e um carrinho para o transporte destes resíduos.

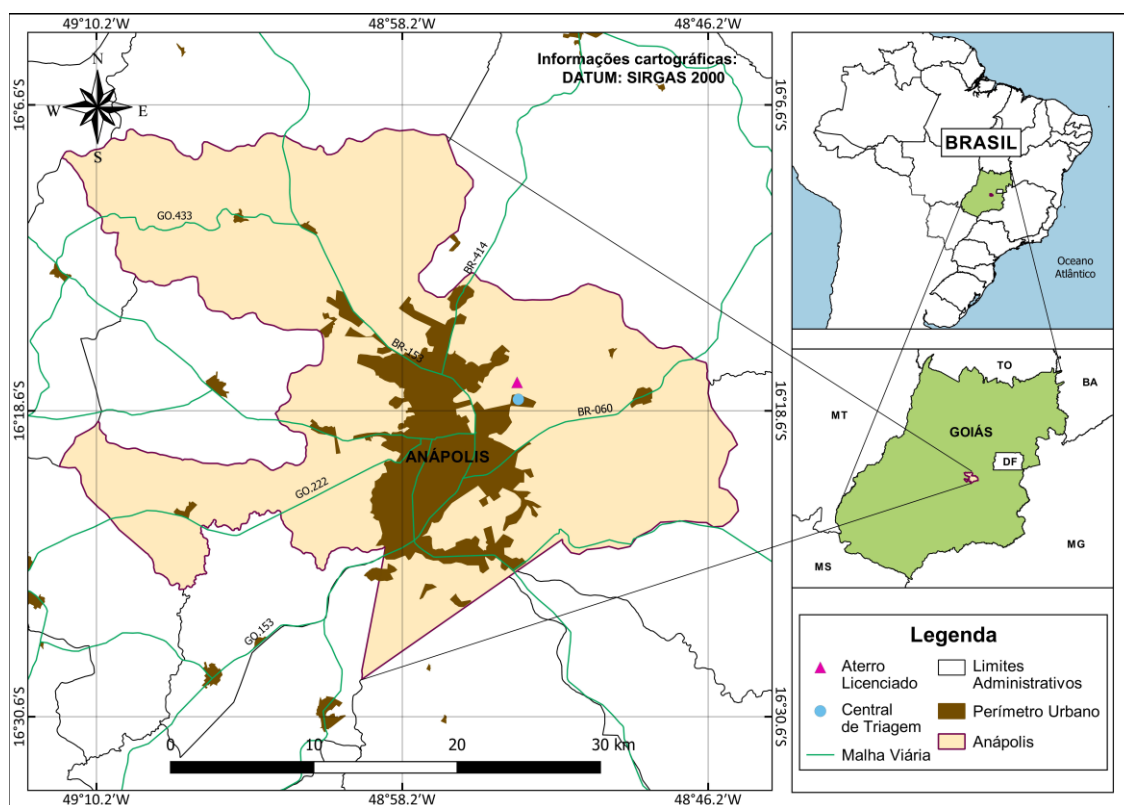


Figura 2-2: Localização do aterro licenciado e central de triagem de Anápolis, Goiás.

2.2.2. Recolha de dados

Para identificar e avaliar os riscos que os *catadores* de Anápolis estavam expostos no aterro controlado, assim como os riscos a que estão expostos na central de triagem, foi realizada uma recolha documental (pesquisa bibliográfica) e usadas informações obtidas em nove visitas técnicas realizadas ao aterro em 2014, e outras seis visitas à central de triagem em 2015. Para complementar os dados necessários para a avaliação dos riscos, entre os dias 17 de novembro e 11 de dezembro de 2015 realizaram-se entrevistas (Anexo A.2) com os *catadores* que trabalham na central de triagem (e que atuavam no aterro controlado). Os *catadores* responderam às mesmas perguntas duas vezes, numa ocasião para apontar os riscos a que estavam expostos no aterro controlado, e na outra vez para retratar os riscos a que estão expostos na central de triagem.

Salienta-se que a entrevista possibilitou a percepção dos riscos de 12 dos 80 *catadores* que trabalhavam no aterro controlado, profissionais que atualmente (2016) estão na central de triagem. Esta entrevista foi elaborada a partir dos riscos identificados durante as observações no aterro controlado e na central de triagem, e os apontados em estudos por Brasil (2014), Cordeiro, Pereira, Duarte, Barros, & Souza (2012), Ferreira & Anjos (2001), Kupchella & Hyland (1993), Lazzari & Reis (2011), Miguel (2014) e Velloso, Santos, & Anjos (1997).

2.2.3. Gestão do risco

Diariamente, trabalhadores em todo o mundo pedem licença do trabalho por motivos de *stress*; sobrecarga de atividades; lesões musculoesqueléticas; problemas de visão, audição e respiratórios; ou outras doenças vinculadas às atividades profissionais que exercem (FESETE, 2010). Para garantir o bem-estar dos trabalhadores, as organizações devem ter consciência de que todas as atividades laborais desempenhadas dentro de seus recintos, independentemente de cargo ou função que o indivíduo atua, envolvem riscos. Sendo assim, as instituições devem fazer a gestão do risco do local de trabalho, identificando, analisando e, por conseguinte, avaliando se esses riscos precisam ser tratados (ABNT, 2009).

O passo inicial para realizar a gestão do risco é a definição de conceitos básicos e que muitas vezes são passíveis de confusões, como a distinção entre perigo e risco, que estão associados, mas são diferentes.

Segundo a Norma Portuguesa – NP 4397:2008, perigo é uma fonte ou situação com um potencial para o dano, em termos de lesões ou ferimentos para o corpo humano ou de prejuízos para a saúde, para o ambiente do local de trabalho, para o património, ou uma combinação destes (NP, 2008). Para a Norma Brasileira NBR 14725-1 (ABNT, 2009), perigo além de ser uma fonte com possibilidade de provocar um dano, é uma característica inerente a um produto.

Já o risco é a combinação da probabilidade de um evento perigoso ou de exposições perigosas e da gravidade de lesões ou afeções da saúde que possam ser causadas pelo acontecimento ou pelas exposições (NP, 2008). Por outras palavras, existe risco quando os perigos que provocam danos tiverem probabilidade de ocorrer (ABNT, 2009). Botelho (2015) complementa ao afirmar que o risco é o resultado de uma relação entre o perigo e as formas de prevenção adotadas para controlá-lo, pois, à medida que o grau de segurança aumenta, se reduz a possibilidade do perigo se transformar em risco.

A gestão do risco é um processo ordenado que permite a análise de todas as características inerentes ao local de atuação do trabalhador, e tem por objetivo apontar o que pode provocar ferimentos ou lesões nos trabalhadores, para que se possa definir as medidas adequadas de segurança que podem ser tomadas para prevenir acidentes de trabalho e doenças ocupacionais, ou seja, fazer o controlo do risco (Nunes, 2011).

Assim, a gestão do risco deve iniciar pela identificação dos perigos e dos riscos, fazendo-se um estudo minucioso de um objeto, que pode ser uma organização, uma área, um sistema, uma atividade, uma tarefa. (Rodrigues, 2006). Terminada a identificação, inicia-se a avaliação do risco, que é um processo no qual é feita uma valoração dos riscos identificados (Pinto, 2012). Para Ferreira (2012), avaliação do risco é um mecanismo que visa estimar a extensão dos riscos ocupacionais para a segurança e saúde dos trabalhadores durante a realização de suas atividades.

Freitas (2002) salienta que a avaliação de riscos é uma ferramenta que possibilita suportar as decisões a serem tomadas acerca do controlo e prevenção dos riscos a que estão sujeitos os indivíduos quando expostos aos agentes perigosos à saúde. Ressalta-se ainda que o mais importante na avaliação do risco é compreender que o processo é dinâmico, ou seja, assim que um novo risco é identificado, deve passar a integrar o processo de avaliação do risco.

2.2.4. Métodos de avaliação de riscos

Os métodos de avaliação de riscos são ferramentas utilizadas para apontar as situações de perigo que uma atividade apresenta, de forma que possa acarretar consequências indesejadas (Paulo, 2014). Esses métodos são divididos em três categorias: métodos qualitativos, semiquantitativos e quantitativos (Carneiro, 2011).

Para este estudo foram utilizados dois métodos de avaliação semiquantitativos. A escolha desta tipologia decorre do facto de serem métodos simples de aplicar, e que permitem identificar de forma precisa os principais riscos (Paulo, 2014). Além disso, são métodos que possibilitam avaliar a subjetividade das informações do local avaliado (Mendonça, 2013). Os dois métodos semiquantitativos aplicados na avaliação dos riscos da atividade de apanha de materiais recicláveis, no antigo aterro controlado e na central de triagem de Anápolis foram: método da Matriz Composta (MC) e método de William T. Fine (WTF). Estas metodologias apontam quais os riscos que devem ter prioridade de intervenção (*PI*) e possibilitam a definição de formas de prevenção dos riscos.

2.2.5. Método da Matriz Composta (MC)

No método da MC, uma matriz é construída de acordo com a frequência da exposição e das consequências, ou seja, na estimativa da severidade (ou gravidade). Além disso, esta metodologia pondera os procedimentos e condições de segurança adotados e o número de pessoas afetadas. A partir do produto destes fatores, obtém-se a magnitude do risco pelo método da Matriz Composta – R_{MC} (ou risco), conforme apresentado na Equação 2-1 (Carvalho, 2013):

$$R_{MC} = F \cdot S \cdot P_s \cdot N \quad (\text{Equação 2-1})$$

Em que:

R_{MC} – Magnitude do risco pelo método da Matriz Composta; F – Frequência; S – Severidade; P_s – Procedimentos e condições de segurança adotados; N – Número de pessoas afetadas.

Cada uma das variáveis apresentadas na Equação 2-1 possui uma escala específica, de forma que é possível definir a valoração mais adequada para cada fator (conforme apresentadas nas Tabelas A.1-1 a A.1-6 do Anexo A.1). Após esta definição, calcula-se o produto das variáveis para se obter R_{MC} , que irá variar de 1 (considerado muito mau) a 625 (considerado muito bom), possibilitando assim determinar os riscos que devem ter PI . Como esta escala é muito ampla, Carvalho (2013) definiu cinco escalas para estes valores, para melhor definir os riscos que exigem intervenção prioritária (Tabela 2-1).

Tabela 2-1: Magnitude do risco, índice do risco e prioridade de intervenção, pelo método da Matriz Composta.

Magnitude do Risco (R_{MC})	Índice do Risco (IR)	Prioridade de Intervenção (PI)
= 1	1 Situação urgente	Situação drástica, alterações urgentes e obrigatórias
> 1 a 16	2 Situação crítica	Requer alterações urgentes
> 16 a 81	3 Situação aceitável	Requer algumas alterações
> 81 a 256	4 Situação bastante aceitável	Poderão ser realizadas pequenas ações de melhorias
> 256 a 625	5 Situação ótima	Não requer alterações

Fonte: Adaptado de Carvalho (2013).

2.2.6. Método de William T. Fine (WTF)

O método de WTF possibilita que a magnitude do risco pelo método de William T. Fine – R_{WTF} seja calculado, sendo que os resultados orientarão as ações preventivas a

serem tomadas (Cardoso, 2013). Segundo Silva (2014), esta metodologia define o risco a partir do produto de três variáveis (Equação 2-2):

$$R_{WTF} = C \cdot E \cdot P \quad (\text{Equação 2-2})$$

Em que:

R_{WTF} – Magnitude do risco pelo método de William T. Fine; C – Consequência (o resultado mais provável de um potencial acidente); E – Exposição ao risco (frequência com que ocorre a situação de risco); P – Probabilidade (representa a probabilidade associada à ocorrência do acidente).

Assim como no método da MC, nesta metodologia cada variável tem suas escalas de valoração (conforme apresentadas nas Tabelas A.1-7 a A.1-10 do Anexo A.1). Sendo que após a definição do valor mais coerente para cada fator calcula-se a magnitude do risco. O nível de risco será tolerável se R_{WTF} for menor do que 20. Entretanto, se R_{WTF} for maior que 400, deve-se interromper de imediato o trabalho realizado, pois representa um nível de risco muito elevado (Paulo, 2014). O método de WTF define cinco escalas para a magnitude do risco, conforme apresentado no Tabela 2-2.

Tabela 2-2: Magnitude do risco, índice do risco e prioridade de intervenção, pelo método de William T. Fine.

Magnitude do Risco (R_{WTF})	Índice do Risco (IR)	Prioridade de Intervenção (PI)
≥ 400	1 Grave e iminente	Suspensão imediata da atividade perigosa
≥ 200 a 399	2 Alto	Correção imediata
≥ 70 a 199	3 Notável	Correção necessária urgente
≥ 20 a 69	4 Moderado	Não é urgente, mas deve ser corrigido
< 20	5 Aceitável	Situação a manter

Fonte: Adaptado de Paulo (2014).

2.3. Resultados e discussão

2.3.1. Identificação dos riscos ocupacionais associados à atividade dos *catadores* de Anápolis/GO

De acordo com as observações feitas nas nove visitas técnicas no antigo aterro controlado, das seis visitas técnicas na central de triagem e a partir da entrevista realizada com os 12 *catadores*, foram identificados os principais riscos ocupacionais a que estes profissionais estão expostos (Tabela 2-3). Estes riscos foram divididos em químicos, físicos, biológicos, ergonômicos e psicossociais e mecânicos, conforme separação definida por Hoefel et al. (2013) e Lazzari & Reis (2011).

Tabela 2-3: Riscos ocupacionais a que estão sujeitos os *catadores* de materiais recicláveis de Anápolis/GO.

Riscos	Descrição dos riscos ocupacionais identificados na apanha de materiais potencialmente recicláveis em Anápolis/GO
Químicos	No aterro controlado foram encontrados produtos químicos que podem ser associados aos riscos de inalação de substâncias químicas tóxicas: pilhas; óleos; tintas; solventes; pesticidas; artigos de limpeza; para além do risco de inalação de gases e fumos nocivos. Identificaram-se principalmente gases provenientes da decomposição dos RU e dos veículos de recolha que despejavam os resíduos no aterro controlado. Na central de triagem há baixa incidência de produtos químicos e de matéria orgânica junto aos materiais, pois o que chega à central é proveniente da recolha diferenciada de recicláveis.
Físicos	No aterro controlado havia forte odor dos resíduos; ruídos de veículos; poeira; objetos perfurantes e de corte (como agulhas de seringas, vidros, pregos). Também foram identificados no aterro riscos decorrentes das condições climáticas, pois o trabalho era feito ao ar livre, o que expunha os <i>catadores</i> ao calor, frio e mudanças bruscas de temperatura. Outros riscos eram os associados às radiações não-ionizantes, da radiação solar. Na central de triagem os riscos físicos foram minimizados pelo facto dos materiais advirem da recolha diferenciada de recicláveis e porque a central está situada num galpão coberto.
Biológicos	Foram identificados os seguintes resíduos no aterro controlado: fraldas descartáveis, agulhas de seringas, papel higiénico, curativos, absorventes femininos, preservativos. Estes materiais (com baixa incidência constatada na central de triagem) podem conter fungos, vermes, vírus ou microrganismos patogénicos como bactérias e protozoários. Também havia no aterro a presença de animais como abutres, cavalos, cães, ratos, formigas, baratas e moscas, que também podem conter microrganismos patogénicos. Na central de triagem verificou-se a presença de moscas e formigas.
Ergonómicos e Psicossociais	Foram identificados – tanto no aterro controlado como na central de triagem – o esforço excessivo; posturas inadequadas; excesso de horas de trabalho e falta de capacitação.
Mecânicos	Os <i>catadores</i> relataram que, no aterro controlado, seguidamente escorregavam e sofriam pancadas contra objetos existentes no meio dos resíduos. Também ocorreram quedas, tanto ao mesmo nível como a diferente nível do solo. Situação que, segundo os trabalhadores, raramente ocorre na central de triagem.

Os riscos identificados (principalmente no aterro controlado de Anápolis) vão ao encontro dos apontados por alguns autores. Silva (2006) relata que os *catadores* das lixeiras atuam em condições precárias de trabalho, com extenuantes jornadas, expostos a intempéries, a líquidos e gases tóxicos provenientes da decomposição dos RU, animais mortos, contacto com vetores como ratos, moscas e baratas, assim como o manuseio com materiais perfurantes e de corte. Silva (2006) destaca ainda que essa situação expõe os trabalhadores tanto a acidentes de trabalho quanto a doenças, que podem ser desde uma intoxicação alimentar, até enfermidades musculoesqueléticas, dermatológicas, respiratórias, dentre outras.

Situação confirmada pelo estudo de Oliveira (2011), que apontou que a atividade de apanha expõe os *catadores* a inúmeros riscos ocupacionais. Sendo que os principais riscos que os próprios trabalhadores se consideram sujeitos são os materiais perfurantes e de corte, o contacto cutâneo, inalação de poeiras e o levantamento de excesso de peso. Além destes, Lavoie, Dunkerley, Kosatsky, & Dufresne (2006) descrevem a contaminação por microrganismos patogénicos como um risco elevado, pois resulta em infeções ou doenças alérgicas. Enfermidades que iniciam com os sintomas da gripe, aperto no peito, irritação nos olhos, nariz e comichão na garganta (Huang, Lee, Li, Ma, & Su, 2002).

2.3.2. Avaliação dos riscos ocupacionais associados à atividade dos *catadores* de materiais recicláveis no antigo aterro controlado de Anápolis/GO

A partir das observações realizadas durante as nove visitas técnicas ao antigo aterro controlado (atual aterro licenciado) em 2014 e da entrevista realizada com os *catadores* em 2015, pôde-se fazer uma avaliação dos riscos a que estes profissionais estavam expostos. Desse modo, foi possível apontar quais eram as situações mais críticas para os *catadores* e os principais riscos durante as suas atividades laborais.

Os resultados obtidos mostraram que há uma semelhança nos valores obtidos para a magnitude do risco (R_{MC} e R_{WTF}) calculada pelos dois métodos aplicados neste estudo (Tabelas 2-4 e 2-5). Sendo que a magnitude dos riscos ergonómicos e psicossociais, provenientes da postura inadequada, levantamento de carga e esforço repetitivo foram os que apresentam índice do risco (IR) elevado para os dois métodos. No método de WTF, estes riscos são tão graves que assinalam para a suspensão imediata das atividades no aterro controlado (o que ocorreu em 2014). Já o método da MC apontou também uma situação crítica para os riscos físicos, que são exposição ao ruído e escorregamento; para o risco químico inalação de gases e fumos; para o risco mecânico atropelamento e; para o risco ergonómico e psicossocial excesso de horas de trabalho.

Relativamente ao risco químico, Lima (2013), aponta que os gases gerados a partir da decomposição da matéria orgânica presente nos RU liberta um biogás composto por cerca de 50% de CH_4 e os demais 50% de CO_2 , vapores de água e de ácidos. Sendo que o odor proveniente do biogás e dos líquidos resultantes da decomposição dos RU pode acarretar mal-estar, dor de cabeça e náuseas (Silva, 2006). Gouveia & Prado (2010) vão além, ao mencionar que os indivíduos que inalam os gases emitidos pelos sistemas de

deposição final de resíduos têm maiores riscos para cancro de bexiga, fígado e para mortes por más formações congêntas.

Além disso, a partir da metodologia de WTF identificou-se o atropelamento como principal risco que havia no aterro controlado. Esse resultado ocorreu devido ao relato de *catadores* durante a entrevista, sendo referido que houve óbitos de *catadores* causados por atropelamento no antigo aterro controlado. Assim, como os três riscos ergonômicos e psicossociais já relatados, o risco de atropelamento definia, pelo método de WTF, que as atividades de apanha de recicláveis no aterro controlado fossem suspensas imediatamente.

Em situação oposta estão os riscos decorrentes da exposição ao frio, em que o *IR* é aceitável. Situação que provavelmente decorria do clima tropical no Estado de Goiás, com temperaturas médias anuais entre os 18°C e os 26°C (SIMEHGO, 2015), e não por questões relacionadas com a segurança no trabalho.

Ao todo, pelo método da MC 13 dos 21 riscos avaliados na atividade de apanha de materiais recicláveis no aterro controlado apontaram para um *IR* crítico. Enquanto que para a metodologia de WTF 16 riscos requeriam, no mínimo, correção urgente. Resultados que corroboram a importância da ação da Prefeitura de Anápolis, que retirou os *catadores* do então aterro controlado e instalou uma central de triagem para que estes profissionais pudessem trabalhar.

Quanto às metodologias aplicadas, a falta de procedimentos que focassem na segurança dos trabalhadores do aterro controlado piorou os indicadores no método da MC, o que foi um ponto positivo desta técnica, que levou em consideração os procedimentos e questões de segurança como indicador para avaliação dos riscos. Já no método de WTF, as escalas da magnitude de riscos permitiram que fosse feita uma segregação mais minuciosa de cada um dos riscos identificados. Tanto que nesta metodologia os riscos aparecerem nos cinco níveis de *IR*, enquanto que no método da MC, os riscos ficaram divididos em três das cinco faixas de *IR*. Por outras palavras, a metodologia de WTF permite que o avaliador possa sugerir de forma mais precisa quais são os riscos que têm *PI*.

2.3.3. Avaliação dos riscos ocupacionais associados à atividade dos *catadores* de materiais recicláveis na central de triagem de Anápolis/GO

Com as informações obtidas nas observações feitas durante as seis visitas técnicas à central de triagem e com a entrevista realizada com os *catadores*, ambas em 2015, realizou-se uma avaliação dos riscos a que estes profissionais estão expostos atualmente.

Esta avaliação possibilitou corroborar se a realocação dos *catadores* do aterro controlado para a central de triagem trouxe efetivamente uma minimização dos riscos a que estas pessoas estavam expostas no aterro controlado. Além disso, foi possível apontar quais são as situações de riscos que devem ser resolvidas com maior urgência.

Tal qual no aterro controlado, os resultados obtidos na central de triagem apontaram para uma semelhança entre a avaliação dos dois métodos aplicados no estudo (Tabelas 2-4 e 2-5). Pelos valores de R_{MC} e R_{WTF} obtidos a partir dos métodos utilizados, os riscos ergonômicos e psicossociais, apesar de apresentarem uma melhoria em termos de *IR* (como resultado de haver duas prensas e um carrinho para enfardar e transportar os recicláveis), ainda são um problema ao qual os *catadores* estão expostos. A diferença é que, enquanto no aterro controlado os *catadores* trabalhavam no meio do maciço de RU, na triagem estes profissionais atuam nas mesas de separação de recicláveis.

A magnitude do risco para o excesso de horas trabalhadas (acima de oito horas diárias) também apresenta uma situação crítica, requerendo uma correção urgente. Esta situação decorre a partir das respostas dos *catadores* nos inquéritos, em que relatam o demasiado cansaço, decorrente das horas que permanecem na central de triagem. Facto confirmado nas observações realizadas durante as visitas técnicas.

A partir dos resultados do método de WTF verifica-se ainda que os riscos físicos, nomeadamente os acidentes com objetos perfurantes e de corte (67% dos 12 *catadores* entrevistados já se acidentaram com estes objetos) e o contacto cutâneo com os resíduos, assim como o risco biológico proveniente da exposição à contaminação por microrganismos patogénicos, e do risco químico, decorrente da inalação de agentes químicos são os que apresentam *IR* mais elevado, ou seja, que requerem alterações urgentes.

Contudo, os riscos que os *catadores* estão expostos na central de triagem são mais tênues. Pela metodologia da MC quatro dos 21 riscos avaliados indicam para um *IR* crítico. Isto significa uma redução de 69% no número de riscos considerados críticos por esta metodologia. Já pelo método de WTF, oito do total de riscos requerem correção urgente. O que representa uma redução de 50% nos riscos que necessitam de alteração urgente.

A partir do método de WTF, constatou-se que o risco de atropelamento, que apresentava um valor de R_{WTF} de 1 500 na apanha no aterro controlado (ou seja, que requeria suspensão imediata das atividades), tem uma valoração de 12,5 na central de triagem. Número que denota que o risco por atropelamento é praticamente nulo.

Ao contrário do aterro controlado, na central de triagem existem procedimentos que primam pela segurança dos *catadores*, o que melhorou os indicadores no método da MC. Já no método de WTF, a menor exposição ao risco de acidentes fez com que os valores de *IR* diminuíssem em quase todos os riscos identificados, o que significa uma minimização dos riscos. Além disso, o facto do resíduo que chega à central ser proveniente da recolha diferenciada de recicláveis, auxilia na mitigação de riscos, como sejam os odores dos resíduos e a contaminação por microrganismos patogénicos ou com produtos químicos. Assim como, o facto da central ser totalmente coberta por um telhado minimiza os riscos associados às condições climáticas.

Salienta-se também que ambos os métodos indicam que sejam sugeridas medidas preventivas, assim como permitem apontar os equipamentos de proteção individual (EPI) necessários para minimizar os riscos relacionados com as atividades dos *catadores*, como luvas, botas e óculos de segurança (Pinto, 2012), riscos que não podem ser eliminados ou controlados doutra forma. Dessa forma, as medidas preventivas e os EPI possibilitam a criação de estratégias para mitigar os riscos a que os *catadores* na central de triagem estão expostos. Obviamente que o trabalho realizado pelos *catadores*, por si só, é uma atividade que apresenta riscos, havendo medidas para minimizá-los, mas não para eliminá-los.

Deve-se mencionar que a ação da Prefeitura de Anápolis de readequar o sistema de deposição final de RU do município, tornando-o um aterro licenciado, aliada à criação de uma central de triagem para os *catadores*, foi fundamental para que os riscos a que estes profissionais estavam expostos diminuíssem. Os valores obtidos nos métodos comprovam as vantagens de se retirar essas pessoas de um local de trabalho inadequado, como um aterro controlado, e colocá-los em uma central de triagem. Contudo, salienta-se que apenas 12 dos 80 *catadores* que atuavam regularmente no antigo aterro controlado estão na central de triagem, o que representa uma baixa adesão dos *catadores*. A prefeitura deve tentar localizar os *catadores* que não estão na central de triagem, pois estas pessoas podem estar a fazer apanha de recicláveis nas ruas do município ou nas lixeiras de municípios vizinhos.

Por fim, salienta-se também que a criação de uma cooperativa de *catadores*, que deu origem à central de triagem, é um dos instrumentos previstos na Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Brasil, 2010), o que propiciou melhores condições de trabalho a estas pessoas, que estão a atuar num local mais salubre e com menos exposição aos riscos.

Tabela 2-4: Avaliação de riscos no aterro controlado e na central de triagem de Anápolis, Goiás, utilizando o método da Matriz Composta.

Método da Matriz Composta		Aterro Controlado			Central de Triagem		
Riscos		R_{MC}	IR	PI	R_{MC}	IR	PI
Físicos	Inalação de poeiras	16	Situação Crítica	Requer alterações urgentes	72	Situação aceitável	Requer algumas alterações
	Odores dos resíduos	24	Situação aceitável	Requer algumas alterações	72	Situação aceitável	Requer algumas alterações
	Exposição ao ruído	8	Situação Crítica	Requer alterações urgentes	108	Situação bastante aceitável	Poderão ser realizadas pequenas ações de melhorias
	Acidentes com objetos perfurantes e de corte	24	Situação aceitável	Requer algumas alterações	72	Situação aceitável	Requer algumas alterações
	Intempéries	72	Situação aceitável	Requer algumas alterações	320	Aceitável	Situação a manter
	Exposição ao calor e ao sol	16	Situação Crítica	Requer alterações urgentes	128	Situação bastante aceitável	Poderão ser realizadas pequenas ações de melhorias
	Exposição ao frio	96	Situação bastante aceitável	Poderão ser realizadas pequenas ações de melhorias	320	Aceitável	Situação a manter
	Contacto cutâneo	24	Situação aceitável	Requer algumas alterações	36	Situação aceitável	Requer algumas alterações
	Escorregamento	8	Situação Crítica	Requer alterações urgentes	144	Situação bastante aceitável	Poderão ser realizadas pequenas ações de melhorias
Biológicos	Contaminação por microrganismos patogênicos	16	Situação Crítica	Requer alterações urgentes	48	Situação aceitável	Requer algumas alterações
Químicos	Inalação de agentes químicos	16	Situação Crítica	Requer alterações urgentes	48	Situação aceitável	Requer algumas alterações
	Inalação de gases e fumos nocivos	12	Situação Crítica	Requer alterações urgentes	108	Situação bastante aceitável	Poderão ser realizadas pequenas ações de melhorias
Mecânicos	Queda a diferente nível	16	Situação Crítica	Requer alterações urgentes	192	Situação bastante aceitável	Poderão ser realizadas pequenas ações de melhorias
	Queda ao mesmo nível	24	Situação aceitável	Requer algumas alterações	144	Situação bastante aceitável	Poderão ser realizadas pequenas ações de melhorias
	Atropelamento	12	Situação Crítica	Requer alterações urgentes	160	Situação bastante aceitável	Poderão ser realizadas pequenas ações de melhorias
	Queda de objeto	64	Situação aceitável	Requer algumas alterações	256	Situação bastante aceitável	Poderão ser realizadas pequenas ações de melhorias
	Choque ou pancada por objeto	48	Situação aceitável	Requer algumas alterações	144	Situação bastante aceitável	Poderão ser realizadas pequenas ações de melhorias
Ergonômicos e Psicosociais	Posturas inadequadas	8	Situação Crítica	Requer alterações urgentes	16	Situação Crítica	Requer alterações urgentes
	Levantamento de carga	8	Situação Crítica	Requer alterações urgentes	16	Situação Crítica	Requer alterações urgentes
	Esforço excessivo	8	Situação Crítica	Requer alterações urgentes	16	Situação Crítica	Requer alterações urgentes
	Excesso de horas de trabalho	12	Situação Crítica	Requer alterações urgentes	12	Situação Crítica	Requer alterações urgentes

Legenda: R_{MC} – Magnitude do risco pelo método da Matriz Composta; IR – índice do risco; PI – prioridade de intervenção.

Tabela 2-5: Avaliação de riscos no aterro controlado e na central de triagem de Anápolis, Goiás, utilizando o método de William T. Fine.

Método de Willian T. Fine		Aterro Controlado			Central de Triagem		
Riscos		R_{WTF}	IR	PI	R_{WTF}	IR	PI
Físicos	Inalação de poeiras	100	Notável	Correção necessária urgente	36	Moderado	Não é urgente, mas deve corrigir-se
	Odores dos resíduos	100	Notável	Correção necessária urgente	36	Moderado	Não é urgente, mas deve corrigir-se
	Exposição ao ruído	300	Alto	Correção Imediata	36	Moderado	Não é urgente, mas deve corrigir-se
	Acidentes com objetos perfurantes e de corte	300	Alto	Correção Imediata	90	Notável	Correção necessária urgente
	Intempéries	45	Moderado	Não é urgente, mas deve corrigir-se	0,05	Aceitável	Situação a manter
	Exposição ao calor e ao sol	150	Notável	Correção necessária urgente	0,05	Aceitável	Situação a manter
	Exposição ao frio	2,5	Aceitável	Situação a manter	0,05	Aceitável	Situação a manter
	Contacto cutâneo	300	Alto	Correção Imediata	180	Notável	Correção necessária urgente
	Escorregamento	300	Alto	Correção Imediata	3	Aceitável	Situação a manter
Biológicos	Contaminação por microrganismos patogênicos	300	Alto	Correção Imediata	180	Notável	Correção necessária urgente
Químicos	Inalação de agentes químicos	300	Alto	Correção Imediata	180	Notável	Correção necessária urgente
	Inalação de gases e fumos nocivos	300	Alto	Correção Imediata	10	Aceitável	Situação a manter
Mecânicos	Queda a diferente nível	90	Notável	Correção necessária urgente	0,25	Aceitável	Situação a manter
	Queda ao mesmo nível	60	Moderado	Não é urgente, mas deve corrigir-se	9	Aceitável	Situação a manter
	Atropelamento	1 500	Grave e iminente	Suspensão imediata da atividade perigosa	12,5	Aceitável	Situação a manter
	Queda de objeto	10	Aceitável	Situação a manter	2	Aceitável	Situação a manter
	Choque ou pancada por objeto	18	Aceitável	Situação a manter	9	Aceitável	Situação a manter
Ergonômicos e Psicossociais	Posturas inadequadas	500	Grave e iminente	Suspensão imediata da atividade perigosa	300	Alto	Correção Imediata
	Levantamento de carga	500	Grave e iminente	Suspensão imediata da atividade perigosa	300	Alto	Correção Imediata
	Esforço excessivo	500	Grave e iminente	Suspensão imediata da atividade perigosa	300	Alto	Correção Imediata
	Excesso de horas de trabalho	100	Notável	Correção necessária urgente	100	Notável	Correção necessária urgente

Legenda: R_{WTF} – Magnitude do risco pelo método de Willian T. Fine; IR – índice do risco; PI – prioridade de intervenção.

2.4. Considerações finais

Conforme apontado pelos valores da magnitude do risco obtidos nos dois métodos de avaliação de riscos (métodos da MC e de WTF), a realocação dos *catadores* para a central de triagem minimizou os riscos a que estes profissionais estão expostos. Sendo que, se houver uma preocupação com os riscos ergonômicos e psicossociais, como as posturas inadequadas, o esforço repetitivo e o excesso de horas de trabalho, os principais riscos estarão minimizados. Aliado a isso, o ideal seria garantir a qualidade dos resíduos que chegam à central, provenientes da recolha diferenciada de materiais recicláveis. Isso porque os *catadores* relataram estar expostos a acidentes com objetos perfurantes e de corte, assim como se mostraram preocupados com o contacto cutâneo com estes resíduos, que por vezes chegam contaminados.

As metodologias de avaliação de riscos também merecem destaque, pois levaram em consideração os procedimentos de segurança realizados durante o trabalho, conforme identificado no método da MC. Além disso, as escalas de magnitude do risco permitiram definir com precisão quais atividades que necessitam de *PI*, como mostra o método de WTF. São ferramentas importantes que podem ser utilizadas por outros municípios para avaliar os riscos a que estão sujeitos os *catadores* em sistemas inadequados de deposição final de RU ou em centrais de triagem.

Destaca-se ainda que, apesar da PNRS estabelecer que os sistemas inadequados de deposição final de RU devem ser erradicados, Goiás possui ainda 230 municípios depositando seus RU em aterros controlados ou lixeiras. Cenário que evidencia a necessidade de mudança imediata na gestão destes resíduos, pois esta situação está a colocar em risco o ambiente e a saúde dos *catadores* de materiais recicláveis que atuam nestes locais.

Por fim, cabe salientar que os municípios goianos devem, além de eliminar e recuperar os sistemas de deposição final de RU, criar postos de trabalho (e, consequentemente, meios de subsistência) para os *catadores*. Seja através da criação de associações ou cooperativas de triagem de materiais recicláveis (tal qual previsto na PNRS), ou através de outras formas de inserção, tanto social quanto económica.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Brasil. O 1º autor, Diogo Appel Colvero, é investigador do CNPq, Processo n.º 207172/2014-5.

Referências bibliográficas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009). Produtos químicos – Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente Parte 1 - ABNT NBR 14725-2: Terminologia. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Botelho, R. M. R. (2015). Avaliação de riscos pelos métodos MIAR, NTP330 e WTF, numa empresa de triagem de resíduos industriais. Universidade do Porto.

Brasil. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. (2010). Brasília, DF: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm

Brasil. Norma regulamentadora – NR n.º 9: riscos ambientais. (2014). Programa de prevenção de riscos ambientais. Portaria MTE n.º 1.471, de 24 de setembro de 2014, que faz a 3ª Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. Brasília, DF. Retrieved from <http://portal.mte.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR9.pdf>. Acesso em: 23 out. 2015.

Cardoso, I. (2013). *Avaliação de riscos ocupacionais em obras de restauro na construção* (Master's thesis). Universidade do Porto. Retrieved from <https://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/69476/2/46133.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2015.

Carneiro, F. C. da S. (2011). *Avaliação de riscos: aplicação a um processo de construção* (Master's thesis). Universidade de Aveiro. Retrieved from <http://ria.ua.pt/bitstream/10773/7857/1/244178.pdf>. Acesso em: 27 out. 2015.

Carvalho, F. C. V. da S. P. M. (2013). *Fiabilidade na avaliação de risco – estudo comparativo de métodos semiquantitativos de avaliação de risco em contexto ocupacional* (Doctoral dissertation). Universidade de Lisboa.

Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., & Pfeiffer, S. C. (2015). Análise dos custos das rotas tecnológicas dos resíduos sólidos urbanos de Cidade Ocidental, Goiás. *Sodebrás*, 10(117), 196–204. Retrieved from <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N117.pdf>

Cordeiro, C. J. D., Pereira, P. S., Duarte, A. E., Barros, L. M., & Souza, M. M. de. (2012). Prejuízos causados aos catadores que trabalham no lixão do município de Juazeiro do Norte – CE. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, 8(15), 2553–2562. Acesso em: 18 out. 2015.

Ferreira, J. A., & Anjos, L. A. dos. (2001). Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais. *Cadernos de Saúde Pública*, 17(3), 689–696. <http://doi.org/10.1590/S0102-311X2001000300023>. Acesso em: 27 out. 2015.

Ferreira, N. F. P. S. (2012). Análise e avaliação de riscos ocupacionais numa unidade de

- valorização na empresa “A Socorsul.” Universidade Nova de Lisboa.
- FESETE – Federação dos Sindicatos dos Trabalhadores Têxteis, Lanifícios, Vestuário, C Calçado e Peles de Portugal. (2010). Manual de avaliação de riscos. Porto, Portugal. Retrieved from <http://fesete.pt/portal/docs/pdf/manual.pdf>
- Fonseca, M. D., Carvalho, G. C., Corrêa, M. M., & Holanda, R. M. de. (2013). Risks related to the environment and the activity of urban solid waste collection. *Revista Verde de Agroecologia E Desenvolvimento Sustentável*, 8(5), 96–100. <http://gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1978/2130>. Acesso em: 25 out. 2015.
- Freitas, C. M. de. (2002). Avaliação de riscos como ferramenta para a vigilância ambiental em saúde. *Informe Epidemiológico do SUS*, 11(3/4), 227–239. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.5123/S0104-16732002000400005>. Acesso em: 28 out. 2015.
- Garcia, M. B. dos S., Lanzellotti Neto, J., Mendes, J. G., Xerfan, F. M. de F., Vasconcellos, C. A. B. de, & Friede, R. R. (2015). Resíduos sólidos: responsabilidade compartilhada. *Semioses*, 9(2), 77–91. <https://doi.org/10.15202/1981996X.2015v9n2p77>
- Gouveia, N., & Prado, R. R. do. (2010). Health risks in areas close to urban solid waste landfill sites. *Revista Saúde Pública*, 44(5), 1–8. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102010005000029>
- Hoefel, M. D. G. L., Caneiro, F. F., Santos, M. L. P., Gubert, M., Amate, E. M., & Santos, W. dos. (2013). Condições de trabalho de catadores de recicláveis do lixão do Distrito Federal. In C. da R. Brito, M. M. Ciampi, & V. F. de A. Barros (Eds.), *XIII Safety, Health and Environment World Congress* (Vol. 13, pp. 353 – 357). Porto: COPEC. Retrieved from http://proceedings.copec.org.br/index.php/shewc/article/view/645/604#.Vi4N_bfhDIU. Acesso em: 15 dez. 2015.
- Huang, C. Y., Lee, C.-C., Li, F.-C., Ma, Y. P., & Su, H.-J. J. (2002). The seasonal distribution of bioaerosols in municipal landfill sites: a 3-yr study. *Atmospheric Environment*, 36(27), 4385–4395. [http://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00322-9](http://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00322-9).
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2014). Goiás – Anápolis. Retrieved January 7, 2015, from <http://cod.ibge.gov.br/5R1>.
- Kupchella, C. D., & Hyland, M. C. (1993). *Environmental Science – Living within the system of nature* (Third Edit). London: Prentice-Hall International.
- Lavoie, J., Dunkerley, C. J., Kosatsky, T., & Dufresne, A. (2006). Exposure to aerosolized bacteria and fungi among collectors of commercial, mixed residential, recyclable and compostable waste. *Science of the Total Environment*, 370(1), 23–28. <http://doi.org/http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.05.016>.
- Lazzari, M. A., & Reis, C. B. (2011). Os coletores de lixo urbano no município de Dourados (MS) e sua percepção sobre os riscos biológicos em seu processo de trabalho. *Ciência & Saúde Coletiva*, 16(8), 3437–3442. <http://doi.org/10.1590/S1413-81232011000900011>.
- Lima, C. S. (2013). Os riscos e as vulnerabilidades vinculadas aos catadores de lixo.

- Revista Terceiro Incluído, 3(2), 57–71. <https://doi.org/10.5216/teri.v3i2.29798>
- Mendonça, A. L. P. V. de. (2013). *Métodos de avaliação de riscos – contributo para a sua aplicabilidade no setor da construção civil* (Master's thesis). Universidade do Algarve.
- Miguel, A. S. R. (2014). *Manual de higiene e segurança do trabalho*. Porto Editora, 13ª edição, Portugal.
- NP – Norma Portuguesa. (2008). Norma Portuguesa (NP) 4397 – Sistemas de gestão da segurança e saúde do trabalho: requisitos. Instituto Português da Qualidade (Vol. 2a edição). Caparica, Portugal.
- Nunes, I. L. (2011). Occupational safety and health risk assessment methodologies. Retrieved November 4, 2015, from http://oshwiki.eu/wiki/Occupational_safety_and_health_risk_assessment_methodologies
- Oliveira, D. A. M. (2011). *Percepção de riscos ocupacionais em catadores de materiais recicláveis: estudo em uma Cooperativa em Salvador-Bahia* (Master's thesis). Universidade Federal da Bahia. Retrieved from <http://www.sat.ufba.br/site/db/dissertacoes/432013120048.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2015.
- Oliveira, M. A. de, & Gonçalves, N. da S. (2015). Estudo comparativo entre o aterro sanitário de Samambaia x lixão da Estrutural. Universidade Católica de Brasília.
- Paulo, M. (2014). *Avaliação de riscos ocupacionais aos profissionais do ICNAS em serviços de medicina nuclear* (Monograph). Universidade de Coimbra.
- Pinto, A. (2012). Manual de segurança - construção, restauro e conservação de edifícios. Lisboa, Portugal. Retrieved from ISBN: 978-972-618-689-2
- Prefeitura de Anápolis. (2015). Aspectos geográficos. Retrieved November 25, 2015, from <http://www.anapolis.go.gov.br/portal/anapolis/aspectos-geograficos/>.
- Ritter, E., Ferreira, J. A., Porto, R., & Lima, J. (2010). Contaminação de recursos hídricos: estudo de caso do lixão de São Pedro da Aldeia (RJ). *Estudos Tecnológicos Em Engenharia*, 6(2), 82–93. <http://doi.org/10.4013/ete.2010.62.03>. Acesso em: 04 jan. 2015.
- Rodrigues, C. (2006). Higiene e segurança do trabalho - manual técnico do formando. Braga, Portugal. Retrieved from https://elearning.iefp.pt/pluginfile.php/49026/mod_resource/content/0/p780/Manual_Tecnico_do_Formando_Higiene_e_seguranca_do_Trabalho.pdf
- SECIMA/GO – Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. (2015). *Nota técnica – aterros sanitários*. Goiânia/GO, Brasil.
- SEMMA/Anápolis – Secretaria municipal de Meio Ambiente de Anápolis-GO. (2015). Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Anápolis, GO, Brasil.
- SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. (2015). SIG – Shapefiles. Retrieved from <http://www2.sieg.go.gov.br/post/ver/171319>
- Silva, M. C. da. (2006). *Trabalho e saúde dos catadores de materiais recicláveis em uma*

- cidade do sul do Brasil* (Doctoral dissertation). Universidade Federal de Pelotas. Retrieved from <http://repositorio.ufpel.edu.br:8080/handle/123456789/1976>. Acesso em: 16 out. 2015.
- Silva, M. F. C. V. da. (2014). *Avaliação de riscos no trabalho como instrumento de gestão na indústria metalomecânica* (Master's thesis). Universidade do Porto. Retrieved from <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/77228/2/104855.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2015.
- SIMEHGO – Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás. (2015). Clima. Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás. Retrieved October 29, 2015, from <http://www.simehgo.sectec.go.gov.br/clima/index.php>
- Velloso, M. P., Santos, E. M. dos, & Anjos, L. A. Dos. (1997). Processo de trabalho e acidentes de trabalho em coletores de lixo domiciliar na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 13(4), 693–700. <http://doi.org/10.1590/S0102-311X1997000400012>.

3. Aterro controlado de Goiânia: uma identidade territorial e a vulnerabilidade e exclusão social da população nas suas imediações

Resumo: No Brasil, um dos debates acerca da gestão dos resíduos urbanos (RU) tem sido a erradicação dos inadequados sistemas de deposição final. Um exemplo ocorre no município de Goiânia, capital do Estado de Goiás, que possui um aterro controlado que faz fronteira com loteamentos residenciais irregulares. Diante desta situação, o objetivo deste artigo foi analisar a relação entre o espaço ocupado pelo aterro controlado de Goiânia, a identidade territorial criada por quem habita esse território e a fragilidade social da população que reside nas imediações deste sistema. A partir de ortofotografias que mostram o aterro de Goiânia e as áreas lindeiras, fez-se uma análise de como ocorre a ocupação dos espaços existentes nos arredores desse sistema de deposição final de RU. Também se examinaram os documentos legais que estabelecem as distâncias mínimas permitidas entre o aterro controlado e os loteamentos vizinhos. Os resultados apontaram que, apesar de Goiânia possuir regulamentação que abrange estas questões do planejamento urbano e da gestão dos RU, existe no município uma situação de gentrificação, processo em que os mais pobres são excluídos da dita *cidade formal*. Um dos fatores responsáveis por este panorama são os interesses imobiliários, que ultrapassam os limites de ocupação territorial sem que haja preocupação com os atuais e futuros moradores dessa região, que estão instalados em terrenos irregulares. Além disso, comparando-se as ortofotografias de 2006 com 2015, nota-se o avanço do adensamento populacional nos loteamentos vizinhos ao aterro. População que está a menos de 500 m deste inadequado sistema de deposição final de RU. Em suma, há uma *cidade informal* que está se construindo na região do aterro controlado de Goiânia, em que o poder público vivencia uma situação antagônica, pois precisa fazer a gestão adequada dos RU, assim como possibilitar uma moradia digna para toda a população.

Palavras-chave: Aterro controlado; ocupação do espaço; fragilidade social; identidade territorial.

3.1. Introdução

O crescimento populacional dos municípios brasileiros, que ocorreu de forma acentuada a partir da década de 1960, fez com que a maioria da população passasse a

residir nas zonas urbanas do Brasil desde a década de 1970 (Mota, 2011). Em 2010, a percentagem de pessoas que viviam na área urbana já era 84,4% (Stamm, 2013). Essa aceleração da urbanização gera um padrão insustentável no âmbito ambiental e económico, pois impõe perdas ambientais difíceis de recuperar e alimenta um urbanismo de risco que atinge os municípios brasileiros como um todo (Rolnik, 2006).

O aumento no número de habitantes a viver na área urbana dos municípios acarreta o crescimento da geração *per capita* de resíduos urbanos – RU (ABRELPE, 2016). Soma-se a isso a dificuldade em se encontrar áreas adequadas para a deposição final desses resíduos, situação que se agrava em locais próximos aos centros geradores (Silva, 2011).

Dentre as tecnologias existentes para a eliminação dos RU, a mais utilizada pelos municípios brasileiros é o aterro, devido aos menores custos com operação e manutenção e sua relativa simplicidade de instalação comparada à outras tecnologias (Conde, Stachiw, & Ferreira, 2014). Entretanto, a percentagem de RU encaminhados para sistemas de deposição final inadequados (lixeiros e aterros controlados) no Brasil ainda é expressivo. Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas Públicas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, no ano de 2015, 41,3% dos RU gerados nos municípios brasileiros foram enviados para deposição final inadequada (ABRELPE, 2016).

Para definir um local adequado para a instalação de um aterro, um município precisa cumprir com alguns aspetos fundamentais, tais como: geológicos, hidrológicos, topográficos, climáticos, económicos, urbanísticos e legais (Mota, 2011). Somam-se a esses elementos, a necessidade por parte dos municípios, em avaliar as questões sociais, pois o lugar eleito para a implantação desse instrumento de deposição final de resíduos altera a vida das pessoas que residem nas imediações. Esses moradores que vivem nas proximidades de um aterro deviam ser alvo de atenção do poder público e da sociedade, pois há uma identidade com o local em que moram. Nesses lares há memória da população com o lugar em que habitam, existe uma ligação singular (DaMatta, 2000).

Devido ao tipo de resíduos que recebem, os aterros devem estar à maior distância possível da zona urbana, mas também não tão longe que torne os custos de transporte desses resíduos muito onerosos. De acordo com Mota (2011), um aterro deve ter um afastamento mínimo de três quilómetros de espaços urbanos. Esse importante instrumento de saneamento básico deve localizar-se na periferia do município, onde, normalmente faz vizinhança com pessoas de menor poder económico, que muitas vezes vivem em

loteamentos irregulares (áreas que não estão licenciadas para o fim em vista). Um exemplo é o aterro controlado (ou aterro não licenciado) de Goiânia, que se localiza na região noroeste do município, na margem da rodovia BR-060 e em área vizinha a núcleos habitacionais (Amaral, Costa, & Ribeiro, 2017). Diz-se aterro controlado o processo donde os RU são depositados em uma vala com ou sem impermeabilização de base, e são cobertos com terra ou resíduos de construção e demolição. Neste método de deposição final de RU, em geral, a área é cercada para evitar o acesso de pessoas e animais, e pode ou não haver tratamento do lixiviado (Garcia et al., 2015; Netto & Santos, 2012; Oliveira & Gonçalves, 2015).

A relevância deste estudo deu-se pelo aumento de lotes e casas ao redor do aterro de Goiânia com o passar dos anos. Além disso, deve-se considerar que antes da instalação do aterro – que ocorreu no início dos anos 1990 (COMURG, 2012) – já existiam habitações esparsas na região das imediações do aterro. Assim, é necessário que se analise também quais são os impactos socioambientais desse local para essa população, tanto aqueles moradores que já estavam no local antes quanto aqueles que vieram após a instalação do aterro. Dessa forma, o objetivo deste artigo foi analisar a relação entre o espaço ocupado pelo aterro controlado de Goiânia, a identidade territorial criada por quem habita esse território e a fragilidade social da população que reside nas imediações deste sistema de deposição final de RU.

3.2. *Materiais e Métodos*

3.2.1. Goiânia e a gestão dos resíduos urbanos

Goiânia, capital do Estado de Goiás desde 23 de março de 1937, possuía em 2015 uma população estimada de 1,43 milhão de habitantes distribuídos em 737,5 km², o que corresponde a uma densidade populacional de cerca de 1 940,3 habitantes·km⁻² (IBGE, 2016; Sasaki, Leles, Malta, Sardinha, & Freire, 2015; SIEG, 2015). O município faz a recolha de 99,8% dos RU produzidos, sendo que se estima que 3% deste quantitativo são de materiais potencialmente recicláveis que são encaminhados para a triagem e o restante (cerca de 1 415 t·dia⁻¹ de RU em 2015) vai para o aterro municipal não licenciado, conforme apresentado na Figura 3-1 (Colvero, Gomes, Tarelho, & Matos, 2017; Colvero, Pfeiffer, & Carvalho, 2016; IMB, 2014; SECIMA/GO, 2015).

Esse sistema de deposição final de RU (localizado nas coordenadas geográficas: -16.649138, -49.362627) tem uma área total de 4,51 ha e recebe resíduos classe II-A (resíduos não perigosos não inertes), classe II-B (resíduos não perigosos inertes) e resíduos de serviços de saúde. O aterro iniciou a operar em 1993, após a recuperação da área degradada pela antiga lixeira, existente desde 1983 (COMURG, 2012). Tal área foi indicada para ser o local de operação do aterro, uma vez que já era usada para deposição irregular de RU, optando-se então, por recuperar o local e construir um aterro, que foi licenciado até 2013. Desde este ano até os dias atuais o aterro é considerado controlado, pois tem uma vala com impermeabilização de base, tratamento do lixiviado e tem compactação e cobertura do maciço de resíduos (Oliveira & Gonçalves, 2015), mas não cumpre com todos os requisitos legais para ser um aterro licenciado pela Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos – SECIMA/GO (2015) como, por exemplo, a distância mínima para o perímetro urbano.

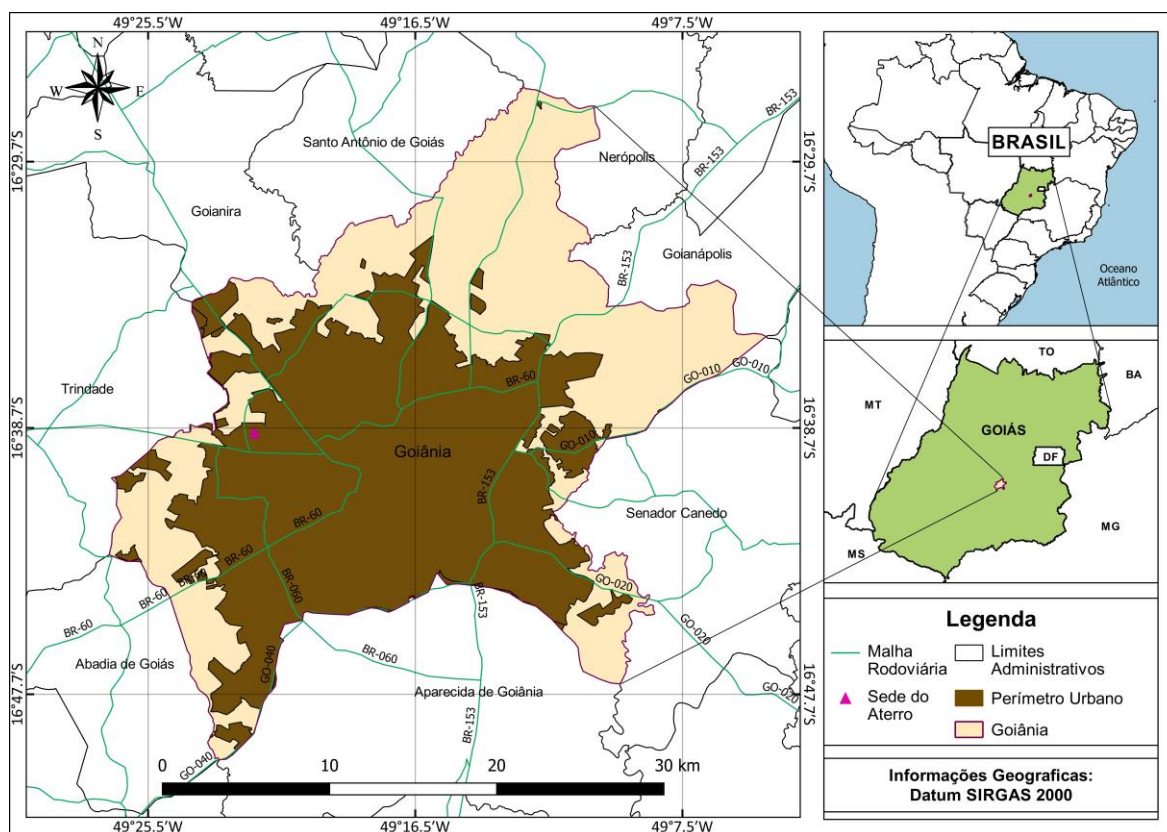


Figura 3-1: Localização geográfica do aterro controlado do município de Goiânia.

3.2.2. Análise do aterro de Goiânia e da região das imediações

Este estudo foi realizado a partir da análise de ortofotografias do aterro controlado de Goiânia e da região das imediações deste sistema de deposição final de RU. Estas ortofotografias foram obtidas na Agência Municipal de Ciência, Tecnologia e Inovação de Goiânia – AMTEC (2011) e Secretaria Municipal de Planejamento e Urbanismo – SEPLAN (2012). Além disso, com os *shapefiles* do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás – SIEG (2015), gerou-se uma ortofotografia do aterro e das áreas vizinhas em 2015. De acordo com Erwes, Prado, Brito, & Koatz (2012) e Netto, Vasconcellos, & Destri (2013), ortofotografias são imagens fotográficas em escalas predefinidas, nas quais se pode fazer medidas com grande precisão através de processos computacionais.

Com estas ortofotografias identificou-se a localização do aterro de Goiânia, os loteamentos residenciais e o curso hídrico existente na evolvente deste sistema de deposição final de RU. Também, com as ortofotografias de 2006 e de 2015, fez-se um comparativo da situação do aterro e das imediações neste espaço temporal de quase uma década.

Para compreender como é tratada a questão da habitação nas proximidades de um aterro, fez-se ainda uma análise da forma como é contemplada a ótica socioeconômica a partir dos documentos legais que tratam a temática do planejamento urbano e dos RU, e se há uma delimitação das áreas onde são tratados e depositados estes resíduos. Além disso, com base na ortofotografias realizou-se uma avaliação dos impactos socioambientais do aterro na população das imediações. Para suportar esta análise, recorreu-se também a referências bibliográficas que abordam temas como vulnerabilidade, exclusão social, espaços, território e identidade territorial.

Por fim, assim como apontam Pina, Lima, & Silva (2008), para uma clara compreensão do contexto analisado neste estudo, foi necessário distinguir dois diferentes conceitos: cidade e município. Do ponto de vista teórico, a cidade é um território ocupado e demarcado que, a partir de ações de planejamento urbano, visa o bem-estar dum determinado grupo de indivíduos, que faz deste território o seu local permanente de moradia e trabalho. A cidade tem funções diversas, aspetos políticos, económicos, culturais e sociais (Pina et al., 2008; Pinto, 2002). Já o município é o perímetro do território no qual a população, vinculada pelas relações afins de localização, vivem sob uma organização

autónoma para o exercício da administração, cultura e economia (IBAM, 2007). Para melhor elucidar, a sede de um município é sempre uma cidade (Pina et al., 2008).

3.2.3. Marcos legais do planeamento urbano e os resíduos urbanos

A Constituição da República Federativa do Brasil rege que a política de desenvolvimento urbano tem como finalidade organizar o pleno desenvolvimento das funções sociais do município e assegurar o bem-estar de sua população. Sendo que, a partir da Constituição do Brasil de 1988, ficou determinado que o plano diretor seria compulsório para municípios com mais de 20 000 habitantes (Brasil, 1988).

Segundo Cymbalista, (2006), outro importante marco no movimento de construção da nova política urbana e habitacional no país ocorreu em 10 de julho de 2001, com a criação da Lei n.º 10257, também conhecida como Estatuto da Cidade (Brasil, 2001). O Estatuto da Cidade rege que a política urbana tem por objetivo coordenar a atuação das funções sociais da cidade e da propriedade urbana. Entre as suas diretrizes gerais está a previsão da construção de cidades sustentáveis, vislumbradas na perspectiva do direito ao solo urbano, à habitação, ao saneamento, à infraestrutura da cidade, ao trabalho e ao lazer, aos serviços públicos e ao transporte (Brasil, 2001). O Estatuto da Cidade buscou também estabelecer uma lógica de planeamento e desenvolvimento das cidades, no qual a distribuição espacial da população e das atividades económicas impeçam e ajustem as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o ambiente (Brasil, 2001). Tais diretrizes referem-se a ações que mostram nitidamente a relação entre o planeamento urbano, o ambiente e a necessidade da implementação de ações de carácter sanitário nas cidades.

Paralelamente ao Estatuto da Cidade, a já existente Política Nacional de Meio Ambiente, definida pela Lei n.º 6938, de 31 de agosto de 1981, previu o Zoneamento Ecológico-Económico (ZEE) como instrumento de planeamento ambiental (Brasil, 1981). Em 10 de julho de 2002, o Decreto n.º 4297 estabeleceu o território do município como um ambiente único, que deve buscar o equilíbrio ambiental e assegurar os direitos sociais, como área de abrangência unitária para realização dos estudos de ZEE, ultrapassando-se os limites urbanos (Brasil, 2002). Este documento legal norteou o planeamento do uso do solo e dos mecanismos de gestão em consonância com o ambiente (Rezende, 2011).

Posteriormente, em 2007, foi promulgada a n.º Lei 11445 (também chamada de Política Nacional de Saneamento Básico – PNSB) que estabeleceu como saneamento

básico os serviços, infraestruturas e instalações criadas para o abastecimento de água potável, saneamento de águas residuais e pluviais urbanas, gestão de resíduos sólidos e limpeza urbana. A PNSB instituiu a obrigação de elaboração dos planos de saneamento básico, função esta dos titulares dos serviços públicos de saneamento básico, ou seja, de responsabilidade dos municípios (Brasil, 2007).

Outro marco regulatório, só que específico para os resíduos sólidos, surgiu em agosto de 2010, com a criação da Lei n.º 12305. Essa normativa, também conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabeleceu que no prazo de dois anos após a publicação da PNRS, todos os municípios brasileiros deveriam estar com seus planos de resíduos sólidos elaborados (Brasil, 2010). Esses planos deveriam prever, em consonância com os demais instrumentos de planeamento territorial, zonas adequadas para a alocação de sistemas de tratamento de resíduos sólidos e deposição final de RU. A PNRS definiu também, que os municípios brasileiros teriam até quatro anos (ou seja, agosto de 2014) para erradicar os sistemas de deposição final irregulares existentes e dar uma deposição final ambientalmente adequada aos rejeitos dos sistemas de tratamento (Brasil, 2010).

Destaca-se que, tanto os planos municipais de resíduos sólidos (deliberado pela PNRS) quanto os planos municipais de saneamento básico (determinado pela PNSB), devem estar em consonância com os planos diretores (estabelecidos pelo Estatuto da Cidade). Desse modo, torna-se fundamental que as normativas orientem o planeamento urbano, visando integrar e direcionar os planos setoriais. Ressalta-se que planejar o território urbano é ir além dos problemas existentes nos municípios; visa de forma técnica e teórica, antever os problemas que estes municípios apresentarão, e antecipar possíveis soluções e diretrizes (Rezende, 2011).

3.2.4. Sistema de deposição final de RU e as populações vizinhas

Segundo a Lei n.º 12305, RU são os materiais provenientes de atividades domésticas e os resíduos de limpeza de urbana, como a varredura e a limpeza de vias públicas (Brasil, 2010). De modo que estes resíduos podem ter a deposição final em aterros, um método de confinamento baseado em critérios de engenharia e legislação operacional específica, que permite o controlo da poluição ambiental e possibilita proteção à saúde pública (D'Almeira & Vilhena, 2000).

Se não respeitar as especificações técnicas e/ou não for bem operado, um aterro pode provocar graves impactos ambientais. O lixiviado, por conter elevadas concentrações

de compostos químicos e elementos potencialmente tóxicos (metais pesados), pode contaminar o solo, os recursos hídricos superficiais, e a percolação vertical do lixiviado que pode chegar ao lençol freático, contaminando as águas subterrâneas. Além disso, a qualidade do ar pode ser alterada como consequência da libertação de poeiras e de gases gerados a partir da decomposição da matéria orgânica presente nos RU (Lima, 2013; Mota, 2011). Um sistema inadequado de deposição final, além de afetar o ambiente, por ser uma fonte constante de poluição que se mantém por décadas, representa riscos para saúde humana da população que reside na vizinhança (Bulcão & Albano, 2010; Gouveia, 2012).

Para garantir a segurança das pessoas, um dos parâmetros técnicos a ser seguido para definir se um local é adequado para a implantação de um aterro, é a distância mínima desse local para as zonas residenciais, conforme especifica a NBR 13896/1997 (ABNT, 1997). Esta norma recomenda pelo menos 500 m de distância entre a área útil do aterro e os núcleos habitacionais existentes. No entanto, em Goiás existe a Resolução n.º 005 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMAM) que é ainda mais restritiva, pois define que nos municípios goianos os aterros devem estar, no mínimo, a 3 km de distância do perímetro urbano (SEMARH/GO, 2014).

Outro importante documento que aborda a questão dos resíduos sólidos na capital goiana, é o Plano Diretor de Goiânia (PDG), criado em 2007, que tem como uma das diretrizes a implantação de um plano de gestão de resíduos sólidos. Também se estabeleceu no PDG que o município precisa promover a ampliação da vida útil de seu aterro, assim como definir uma nova área para a implantação de um aterro para servir o município (Goiânia, 2007). A decisão sobre o destino dos RU gerados pelo município tem que contar com a participação da sociedade. Para isso, deve haver estruturas que garantam à população informação e participação nos processos de criação, implementação e avaliação das políticas públicas vinculadas aos resíduos sólidos. É o chamado controle social (Brasil, 2010), que possibilita uma gestão participativa das questões vinculadas ao ambiente, além de promover uma reflexão coletiva acerca das necessidades de produção dos espaços e de apropriação da natureza (Costa, Campante, & Araújo, 2011).

3.2.5. Região do aterro de Goiânia: vulnerabilidade e exclusão social

Num movimento socioterritorial intenso, a população brasileira passou de rural para urbana em menos de 40 anos (Figura 3-2). Essa migração ocorreu sob a proteção de um modelo de desenvolvimento urbano que excluiu das condições básicas de urbanidade a

população com menor renda (Rolnik, 2006). Como consequência desse movimento excludente surgiram os aglomerados populacionais ilegais no país, locais em que a população pobre vive em condições precárias, o que remete à necessidade de uma reforma urbana.

Provavelmente o maior obstáculo a se enfrentar na reforma urbana nos municípios seja a busca por encontrar lugares com infraestruturas adequadas e condições de habitabilidade para os menos abastados. Locais que ofereçam água tratada, saneamento, energia elétrica, lotes sem riscos de desabamentos. Salvo as exceções, há uma regra nos municípios brasileiros de expulsar aqueles com menor poder aquisitivo para as periferias longínquas e sem estrutura, soluções por vezes encontradas pelo poder público, que afasta essas pessoas de locais centrais e com infraestruturas (Cymbalista, 2006).

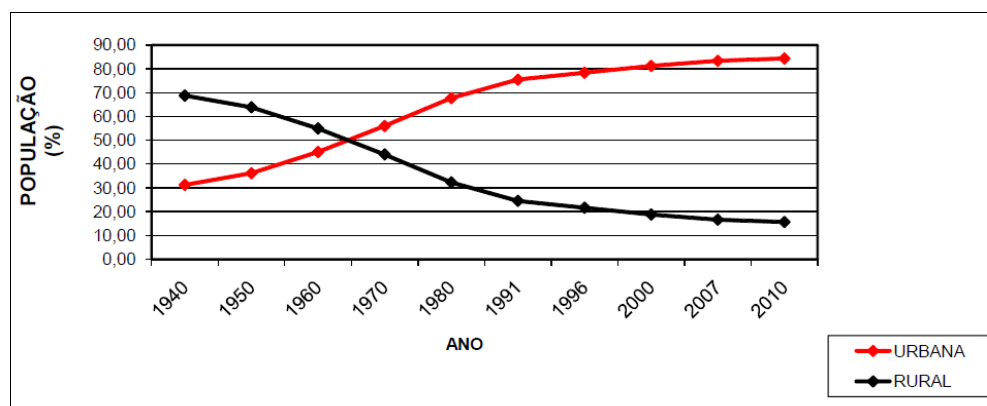


Figura 3-2: Dinâmica da população por situação de domicílio no Brasil de 1940 a 2010.
Fonte: Rezende (2011).

É nesses territórios, afastados da *cidade formal* que essas pessoas buscam recomençar suas vidas, cheias de histórias a serem contadas, mas que na maioria das vezes não interessa aos gestores dos municípios. Territórios que, segundo Etges (2008), são frações de área demarcadas, uma extensão física real, com objetos devidamente espacializados. Quando parte da população se desloca para os espaços existentes nos arredores do aterro de Goiânia, estes deixam de ser espaços da periferia e se tornam espaços tomados, outrora espaços vagos que foram ocupados ilegalmente por alguém, que se apropria e passa a habitar nele. Aqueles que vivem mal alojados ou não possuem uma moradia, característica inerente às metrópoles, se tornam o resultado de uma contradição, pois há habitações desocupadas, mas isso não os dá o direito de ocupá-los (Fischer, 1994).

O PDG, em seu artigo 2º, descreve que a política urbana do município deve amparar-se nos princípios da igualdade, oportunidade, transformação e qualidade, no qual o município e a propriedade urbana devem ter o completo desenvolvimento das suas funções sociais. Diz ainda no PDG que a população tem direito à moradia digna, saneamento ambiental, ao trabalho e à infraestrutura (Goiânia, 2007). Entretanto, essa falta de efetividade em solucionar o problema é a privação de recursos para essas pessoas, que vivenciam novas formas de desterritorialização no espaço urbano, sendo a expulsão uma das mais conhecidas, onde uma das marcas da pobreza e da exclusão é a perda de um território (Fischer, 1994).

O território atende as necessidades econômicas, sociais e políticas e sua operação está sustentada pelas relações sociais. Também, tem como função as atuações simbólicas, onde aqueles que os habitam projetam suas percepções de mundo (Almeida, 2005). É no território que se formata a representação dos grupos sociais, onde as relações sociais são espaciais ou geograficamente intercedidas (Santos, 2002). São nesses lugares onde se cria a identidade, conceituada como uma elaboração dos preceitos culturais e sociais que orientam o mecanismo de identificação e diferenciação, seja de um indivíduo ou de um grupo (Cruz, 2007).

De acordo com Rolnik (2006), os aglomerados populacionais irregulares são lugares com solos frágeis ou áreas não passíveis de urbanização, como encostas íngremes e espaços inundáveis, que compõem vastas franjas de extensão periférica sobre zonas rurais, desprovidas das infraestruturas, equipamentos e serviços que caracterizam a urbanidade. Locais esquecidos dos mapas, cadastros de prefeituras e concessionárias de serviços públicos, inexistentes nos registros de propriedade nos cartórios. São locais sem as mínimas condições de infraestrutura habitacional, ou seja, são inexistentes para o Estado.

Isso ratifica a fragilidade social vivida pelas pessoas que habitam os arredores do aterro de Goiânia. Debilidade que fica evidenciada quando Nascimento, Silva, & Costa (2010) mencionam que os cidadãos excluídos do mercado de trabalho formal, acabam por ocupar áreas de instabilidade ambiental que são desvalorizadas. Entretanto, há a atuação das políticas públicas, que instalam infraestrutura e serviços, atendendo aos interesses imobiliários. Assim, dentro da cidade surgem outras cidades, de acordo com as possibilidades financeiras dos seus moradores, o que acaba por gerar a tal instabilidade ambiental, que acaba por acarretar as áreas de risco e favelas.

O Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS) caracteriza populações frágeis como em situação de vulnerabilidade social em virtude da pobreza, da privação de renda e/ou das discriminações que elas sofrem. Seu texto versa ainda que a fragilidade social ocorre em territórios em que o Estado tem presença precária ou é praticamente ausente (MDS, 2005).

Diante desse debate acerca do território e da exclusão social que aqueles com menor poder aquisitivo sofrem em relação aos locais com infraestrutura, é notável a existência de uma tendência de preservação na definição de áreas de conservação ambiental. A função social da propriedade para uso coletivo não aparece nas prioridades. É um discurso ambiental que apresenta falhas que acabam por servir de instrumento para fortalecer a exclusão socioespacial (Costa et al., 2011). A cidade deve ser um espaço socioambiental, no qual a sociedade e o ambiente devem interagir de forma harmônica, conforme expressam Grazia, Queiroz, Mota, & Santos (2001).

3.2.6. O território e a identidade territorial

O território ocupado com loteamentos irregulares ao redor do aterro de Goiânia possui relações de poder que demonstram as influências do ramo imobiliário, setor que domina e articula as ações da expansão imobiliária que ocorre na região. É nesse território edificado que surge a combinação singular de inúmeras relações de poder, seja material, simbólico, afetivo, que estão intimamente conectadas aos interesses econômicos e políticos (Cruz, 2007).

É nos territórios, cheios de relações de poder, que são construídas as identidades territoriais que pressupõem dois elementos fundamentais: o *espaço de referência identitária* e a *consciência socioespacial de pertença*. No primeiro ocorrem as experiências culturais e sociais, é nele que são traçadas as formas de uso, organização e produção do espaço, assim como as representações espaciais. Já no segundo, surge o sentimento de pertença e de reconhecimento, seja como indivíduos ou grupo em relação a uma sociedade (Cruz, 2007). São dois elementos fundamentais para compreensão do que ocorre, por exemplo, na área do aterro de Goiânia e sua vizinhança. Inicialmente, definiu-se como seria utilizado esse espaço em que havia alguns moradores e ao lado uma lixeira de resíduos sólidos. Após algumas adaptações essa lixeira passou a ser o aterro municipal (COMURG, 2012). Passados alguns anos aparece o mercado imobiliário, que loteia a área limítrofe desse local e passa a vender terrenos à população por preços atrativos

(Rezende, 2011). Assim, foram definidas as formas de uso, como esse espaço deveria ser ocupado, mesmo que tenha ocorrido um desrespeito à lei. Nas pessoas que passam a residir nas imediações do aterro brota o sentimento de pertença, há uma ligação do grupo com o território, que se sente identificado pela sociedade, já que possui um lugar para morar. Dito isto, fica evidente a consciência socioespacial de pertença desses moradores com o território habitado.

Essa identidade territorial é a forma de se expressar dos moradores da região em estudo. Para estas pessoas, o que realmente importa são as identidades coletivas nos territórios, arquitetadas de acordo com o significado e com o sentimento de pertença de cada grupo social em seu território, determinando assim a chamada identidade territorial (Chelotti, 2010). Com isso, as identidades territoriais podem ser estabelecidas de maneiras distintas, umas ligadas ao domínio do espaço pelo poder económico e político e outras conectadas a uma apropriação simbólico-expressiva, onde a referência é a subjetividade e a experiência do espaço habitado (Cruz, 2007).

3.3. Resultados e Discussão

3.3.1. O aterro de Goiânia e as características da ocupação na região

De acordo com o planejamento urbano de Goiânia definido no PDG, o modelo espacial divide o território do município em Macrozonas, que foram determinadas como porções do território delimitadas a partir de critérios físico-ambientais. Foram instituídas oito Macrozonas, divididas no território como Macrozona Construída – MCd ou Macrozona Rural – MR (Goiânia, 2007).

O aterro do município localiza-se em uma MCd (Figura 3-3), uma região marcada por uma situação de incerteza vivenciada por quem habita as imediações desse local, o que gera uma vulnerabilidade social. Circunstância que é ocasionada a partir de um conjunto de fatores que produzem uma degradação da sensação de bem-estar dessas pessoas. Essas famílias têm consciência de que não podem morar naquela área, porém, essa é uma situação gerada pela falta de alternativas. Da mesma forma que há a criação de uma identidade com o local onde vivem. Identidade que, conforme Santos (2002), é ter a sensação de pertencer a algo que nos pertence, enquanto que o território é o lugar da moradia, das trocas concretas e espirituais, é onde ocorre o exercício da vida.

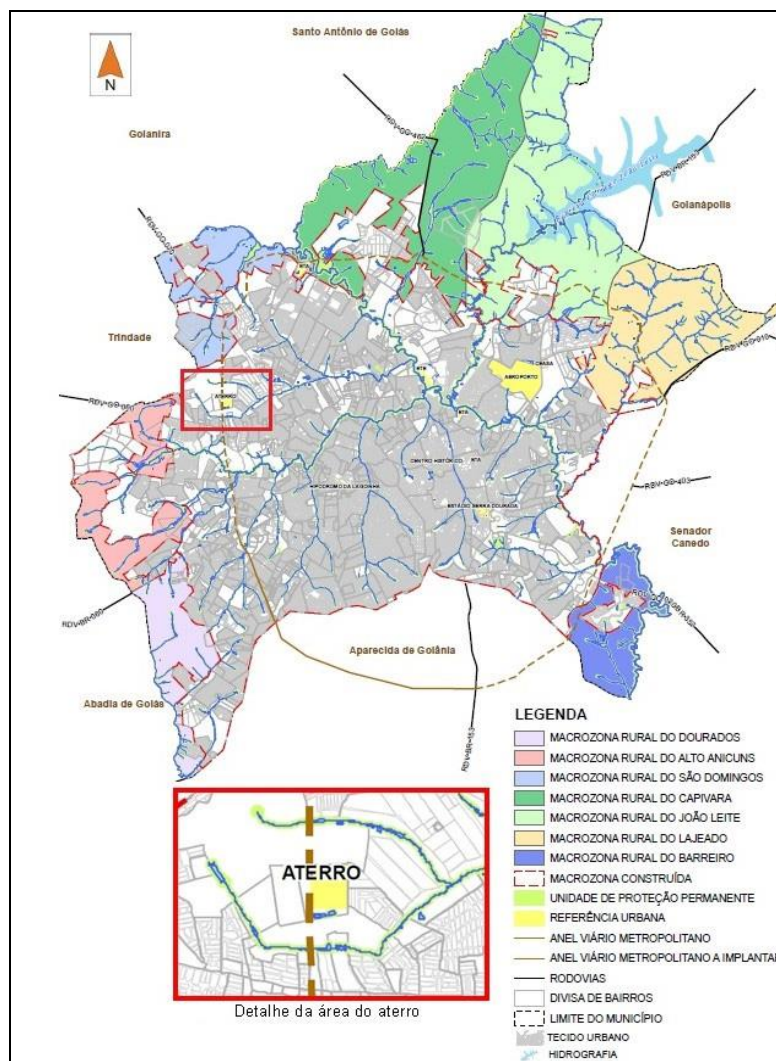


Figura 3-3: Município de Goiânia segundo divisão em Macrozonas. Detalhe em destaque: aterro.
Fonte: Goiânia (2007).

Essa exclusão urbanística, marcada pela imensa ocupação irregular do território urbano, é ignorada por aqueles que vivem na chamada *cidade oficial* (Maricato, 2000). Obviamente que, uma das questões a se observar é que há a preocupação com os impactos que essa população gera nessa região de Goiânia (assim como em outras áreas com aglomerados populacionais irregulares), visto que eles moram em locais não permitidos. Entretanto, não é analisada a situação dessas pessoas, que estão ali porque não possuem outra opção, pois se pudessem estariam na parte da cidade com infraestrutura, o que no modelo atual de cidade, não é possível.

Segundo Maricato (2000), não é pela falta de planos diretores que os municípios no Brasil tem problemas com o planejamento urbano – até porque Goiânia, por exemplo, tem o seu plano diretor – mas, porque os municípios crescem de acordo com alguns interesses

políticos e de grupos específicos vinculados ao governo em exercício. No PDG, está definido que será através da valorização ao patrimônio ambiental na ocupação do território que serão construídos elementos que fortalecerão as identidades natural e cultural do município, ou seja, está evidenciado que há preocupação com a questão da identidade (Goiânia, 2007).

O município é formado por grupos que se difundem a partir de critérios socioeconômicos e com regras que determinam a diferença entre os espaços centrais, que são valorizados, e os espaços marginais, que são desvalorizados. Os espaços marginais são lugares deslocados do sistema social, sítios ocultados, distantes de uma zona de visibilidade. São espaços de fuga, em que pessoas fragilizadas situam-se em locais de retirada, zonas de afastamento de classes que residem no universo social apreciado (Fischer, 1994). É nesses espaços que existe uma grande quantidade de bairros pobres que marcam a mancha urbana metropolitana, com uma população em sua maioria de baixo poder econômico, revelando que as formas de uso, intercedidas pela propriedade privada da terra, restringem a metrópole a uma parcela considerável da população (Carlos, 1996).

Nesse sentido, o município de Goiânia apresenta diferentes interesses, sendo que a cobiça imobiliária se sobrepõe. Na região dos arredores do aterro, por exemplo, (principalmente nas vizinhanças a leste e a sudoeste do mesmo), há loteamentos irregulares, mas que atrai interessados, pois os preços dos lotes são mais baixos que em outras regiões mais nobres da cidade (Rezende, 2011). Verifica-se na ortofotografia apresentada na Figura 3-4 (que mostra a região do aterro de Goiânia no ano de 2011) que a distância mínima de 3 km entre o aterro e perímetro urbano, estabelecida pela Resolução n.º 005 CEMAm, não é respeitada (SEMARH/GO, 2014).

Nota-se que não há preocupação com os atuais e futuros moradores dessa região, que estão/estarão instalados em terrenos irregulares, além de estarem a colocar em risco os mananciais, que estão a ser tomados. Salienta-se ainda, que as zonas demarcadas para lotes futuros apontam para uma contínua expansão dos loteamentos na região (como se pode ver no limite dos bairros apresentado da Figura 3-4), sem que haja intervenção do poder público para que esse avanço cesse.

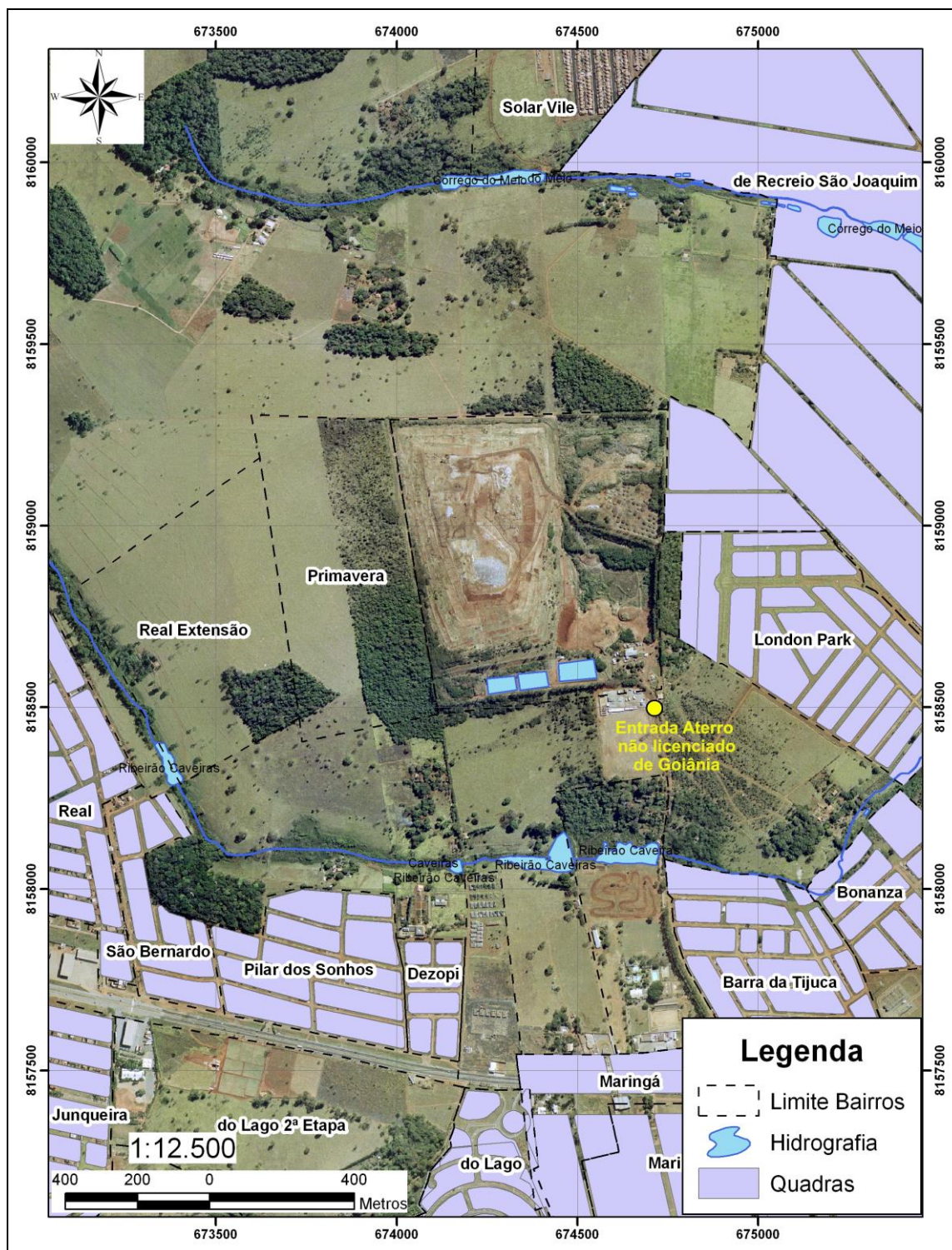


Figura 3-4: Ortografia do aterro de Goiânia e loteamentos residenciais vizinhos.
Fonte: AMTEC (2011).

Goiânia vivencia na margem do aterro um típico caso de gentrificação, processo de exclusão dos mais pobres pelos organismos do mercado, no qual há a valorização dos preços de terras mais bem situadas ou nas fronteiras de expansão imobiliária (Cymbalista,

2006). Pode-se dizer também que nas imediações do aterro há uma situação na qual as ideias estão fora do lugar, pois a ordem que se define a todos os indivíduos utiliza princípios da racionalidade burguesa. Contudo, pode-se dizer que as ideias estão sim no lugar, pois se aplicam a uma parcela da sociedade, pessoas que reafirmam as questões de desigualdade e de privilégios. É a *cidade informal*, um espaço sem gestão, invisível aos olhos da sociedade, ou seja, um lugar fora das ideias (Maricato, 2000).

Essa gentrificação das cidades é responsável pela mudança nas áreas centrais das municipalidades. Faz parte da produção de paisagens urbanas destinadas ao consumo das classes média e alta, tendo em vista que aqueles que não tem onde morar foram expurgados desses locais. Cabe ressaltar que a gentrificação de Goiânia também está vinculada às estratégias do ramo imobiliário, que acabam expulsando os mais pobres de zonas de cobiça deste setor em prol da ocupação e valorização desses espaços. São realizados investimentos em infraestrutura em locais antes ocupados por aqueles com menor poder aquisitivo que, ao invés de usufruírem dessas melhorias, acabam sendo excluídos desses locais que passarão a ser habitados por aqueles que possuem condições de pagar para ali morar (Smith, 2006).

Nesse espaço marcado por contradições que as cidades apresentam, uma das incoerências é o desperdício de alimentos que contrastam com a fome e a miséria que assola parte da população mundial (Silva, 2002). Outro disparate é a cidade ter inúmeros lotes, casas e apartamentos vagos, localizados em lugares que apresentam infraestruturas, enquanto que parte da população tem que morar em encostas de morros, nas margens de mananciais. Esse modelo de contradições se repete nos municípios brasileiros.

Isso se reflete na formatação do município, pois à medida que o lugar deixa de exercer sua função, ele perde sua identidade, fica sem sua essência. Carlos (1996), menciona que o lugar é o alicerce da reprodução da vida, e pode ser avaliado pela tríade habitante – identidade – lugar. Na cidade é produzido o plano de vida do indivíduo, que mantém relações com os espaços habitados e são expressos diariamente nas condições mais banais.

A cidade é um desafio ao entendimento de como funciona toda a dinâmica social (Silva, 2002). De acordo com Sposati (2006), a cidade é, ao mesmo tempo, o espaço da inclusão e da exclusão, sendo que o poder económico determina em qual das partes o indivíduo ou o grupo estará inserido. Os excluídos acabam por habitar a *cidade informal*,

que forma um modelo condenado pelo município, uma vez que impõe danos ambientais e externalidades negativas que são difíceis de se recuperar. É esses processos que acarretam em consequências nefastas, gerando uma reação em cadeia chamada de urbanismo de risco, que são os locais mais fragilizados da cidade (Rolnik, 2006).

Goiânia também apresenta falhas na sua estrutura habitacional, pois lotes vizinhos possuem um aterro e moradores, entretanto, apenas um pode permanecer. Da mesma forma que Goiânia deve atender a legislação e dar um adequado tratamento aos seus resíduos, também necessita atender às exigências do PDG (Goiânia, 2007), que estabelece o direito à moradia a todos os munícipes. Sendo que, independentemente de quem sair do local, seja o aterro ou os moradores, tem que imediatamente ser relocado para outra área em condições. Esse entrave leva a outro questionamento levantado por Grazia et al. (2001), no qual os autores entendem que os gestores urbanos devem buscar a sustentabilidade socioambiental, isto é, que o município se desenvolva de maneira que não provoque um colapso dos recursos naturais ou a exclusão de parte da população.

3.3.2. Aterro de Goiânia frente à expansão urbana

Na análise da região limreira ao aterro de Goiânia, pode-se identificar desde 2006 (Figura 3-5), quando o aterro ainda era licenciado, que as distâncias mínimas do aterro para os corpos hídricos para abastecimento público não eram cumpridas. A menos de 400 m do perímetro do aterro encontra-se o Córrego Caveiras, um curso hídrico que é um dos afluentes da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, um dos mais relevantes recursos hídricos da região *Metropolitana de Goiânia* e que, dentre outras utilizações, fornece água para o abastecimento da população de Goiânia (Brito, Santos, & Campos, 2013; Souza, Campos, & Malheiros, 2014). De acordo com a Resolução n.º 005 do CEMAM, a distância para quaisquer corpos hídricos deve ser de, no mínimo, 500 m. Sendo que se for um curso hídrico para abastecimento público, esta distância deve ser de, ao menos, 2,5 km.

Na análise espacial comparativa entre as Figuras 3-5 e 3-6 correspondentes a 2006 e 2015, respectivamente, é perceptível a evolução do espaço útil do aterro, em que há abertura de novas células de deposição de RU situadas a leste da célula principal, que já atingiu sua capacidade máxima de recebimento de resíduos. De acordo com COMURG (2012), esta ampliação do aterro (que estava prevista para 2013 – e que foi de facto efetuada), possibilitou que a vida útil do aterro fosse ampliada em 15 anos, findando assim em 2028.

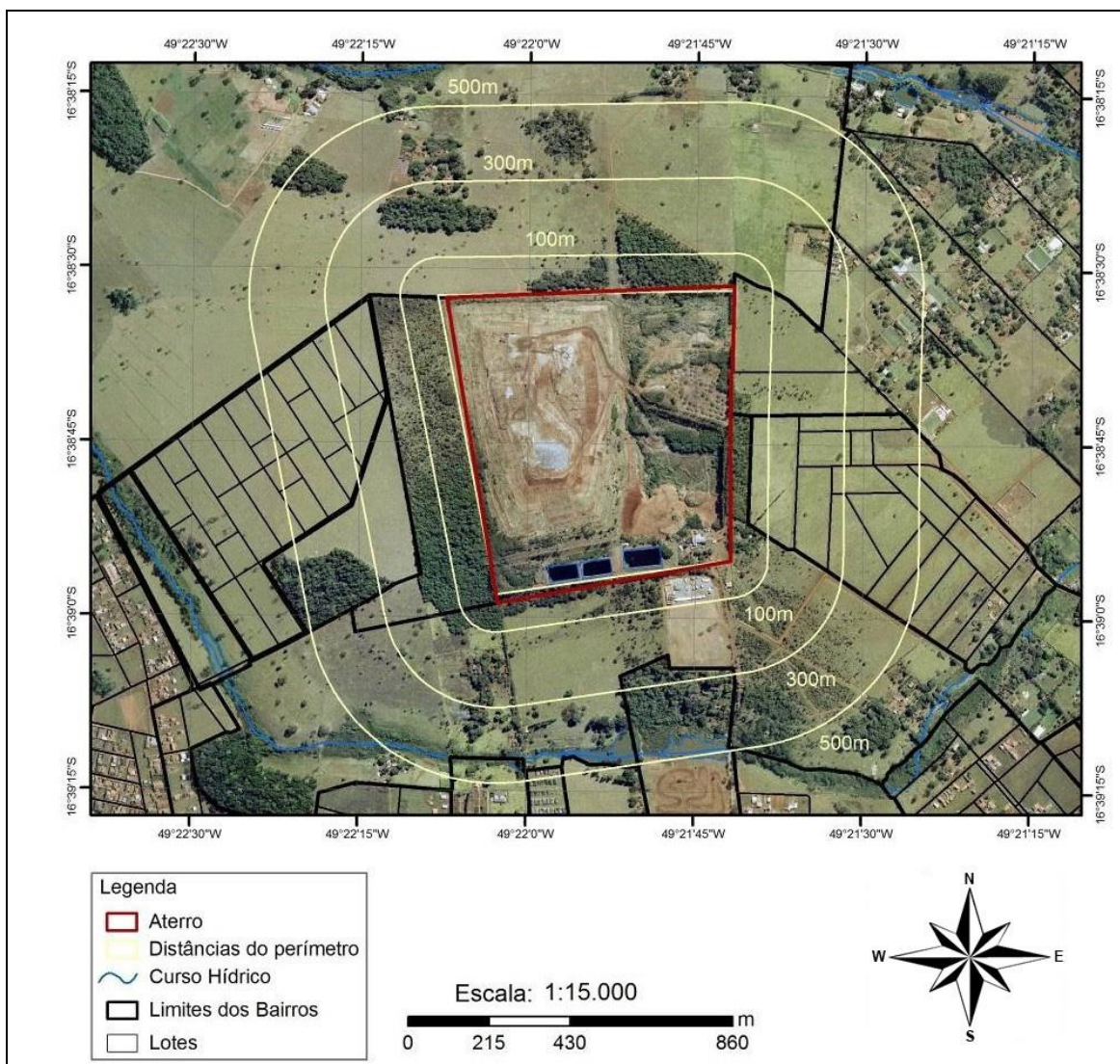


Figura 3-5: Ortofotografia da área do aterro referente ao ano de 2006.

Fonte: SEPLAN (2012).

Outra mudança perceptível de 2006 em comparação a 2015 foi quanto à vegetação situada a oeste do aterro, que parece ter sofrido com as ações de intempélicas nesse último ano (Figura 3-6). Além disso, as manchas brancas sobre a vegetação na ortofotografia de 2015, provavelmente são acúmulos de resíduos sólidos oriundos do aterro, que devem ter sido carreados pela ação do vento.

Finalmente, nota-se ainda na Figura 3-6 o avanço dos aglomerados populacionais nos loteamentos vizinhos ao aterro, principalmente a leste/sudeste deste sistema de deposição final de RU, nos loteamentos chamados *London Park*, *Bonanza* e *Barra da Tijuca*. Há residências a nordeste do aterro situadas a menos de 300 m do perímetro do aterro, distância 10 vezes menor que os 3 km estabelecidos pela Resolução n.º 005 do

CEMAm (SEMARH/GO, 2014). Nem mesmo a NBR 13896/1997 (ABNT, 1997), que é menos restritiva que a Resolução n.º 005, é respeitada.

Em suma, este estudo permitiu que se compreendesse com mais clareza a relação entre o aterro de Goiânia e as pessoas que residem próximo ao mesmo, assim como se pode identificar que há desacordo entre os documentos legais e o que realmente ocorre.

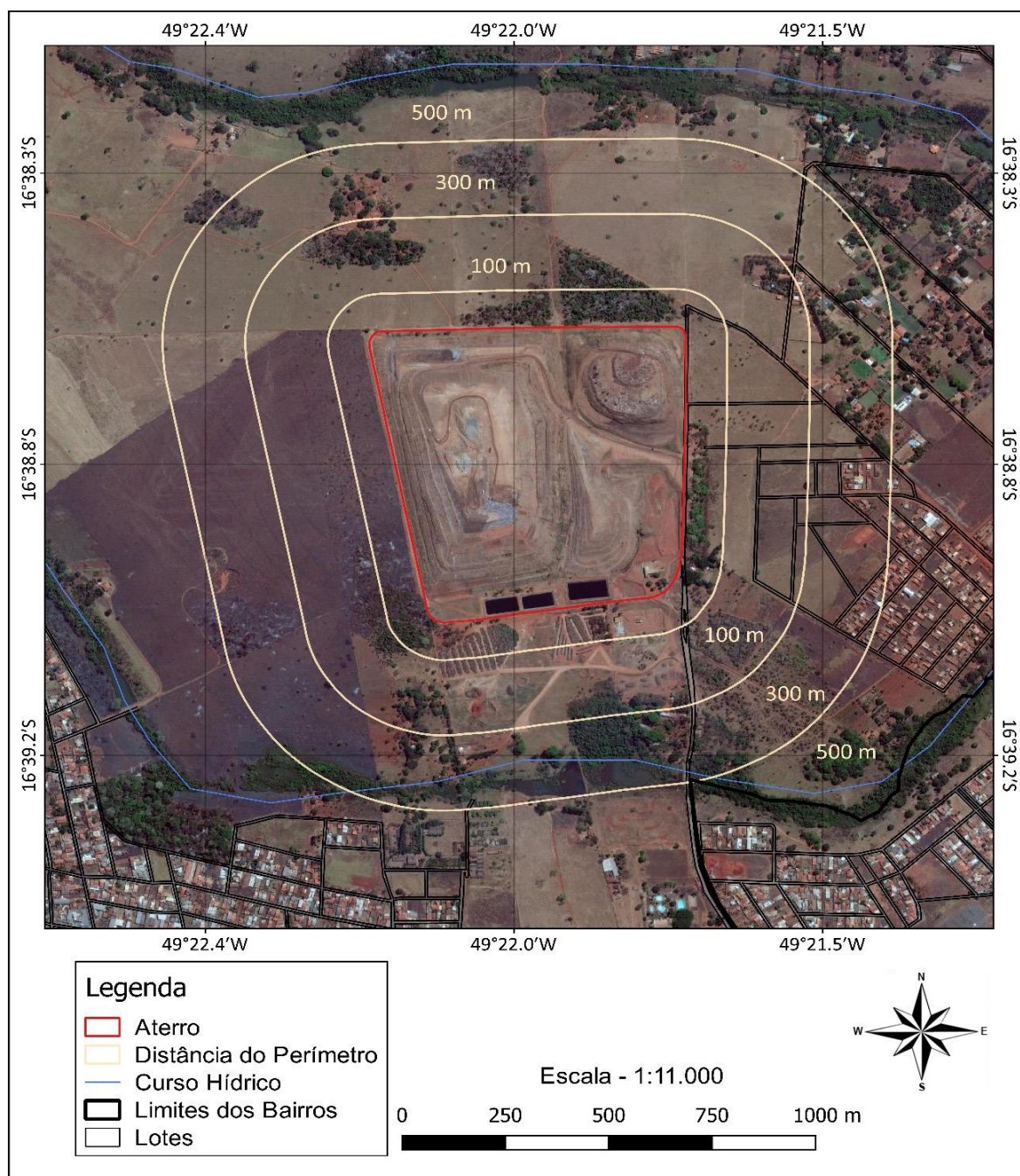


Figura 3-6: Ortofotografia da área do aterro referente ao ano de 2015.

3.4. *Considerações Finais*

Este estudo apresentou uma análise da fragilidade social da população que reside nas áreas das imediações do aterro de Goiânia, fazendo um diálogo entre questões relacionadas à ocupação do espaço, especulação imobiliária, planejamento urbano e a identidade territorial daqueles que vivem nesse local. Observou-se também que a infraestrutura de Goiânia não acompanhou o crescimento do município na mesma velocidade. Aliado à isso, foram criadas zonas de interesses imobiliários, o que acabou expulsando os cidadãos sem poder económico para a região periférica do município.

Embora o aterro controlado de Goiânia seja um avanço em relação às lixeiras, a sua instalação exigiu grandes áreas afastadas das regiões urbanizadas e, conseqüentemente, longe de serviços públicos como escolas, hospitais, estruturas de transporte público, redes de saneamento de águas residuais e de água tratada. Tal característica fez com que os terrenos próximos dos aterros fossem desvalorizados por grande parte da população.

Entretanto, aos que não têm escolha, as redondezas do aterro se tornaram lugares onde os indivíduos vislumbraram a edificação de suas casas e constituição de suas famílias. Essas pessoas chegaram a essas regiões devido à falta de opção em áreas nobres da cidade e também por serem vítimas da “indústria” imobiliária que loteou (e ainda loteia) áreas irregulares a preços baixos. Independente de como isso ocorreu, o facto é que o poder público ou se omitiu ou foi conivente com alguns grupos que se beneficiam com a instalação destas pessoas nessas áreas. Também é importante salientar que as pessoas que se instalam nesses lotes tem a consciência de que construirá a sua casa num lugar que dificilmente será lembrado pelo Estado.

Nos lotes próximos ao aterro de Goiânia, tanto aqueles que já existiam antes da instalação do mesmo, quanto os que surgiram após o ano de 1993 (ano de implantação do aterro) há um misto de esperança e apatia entre os proprietários desses terrenos. Por residirem em áreas irregulares, o poder público não pode ser acionado para prover melhorias nessas áreas. Por outro lado, políticos e especuladores do mercado imobiliário têm sempre uma promessa que dificilmente se cumpre para essas populações. Isso escancara a fragilidade social vivenciada pelos habitantes dessa localidade.

Essa *cidade informal* que se criou nos arredores do aterro de Goiânia evidencia que houve falhas entre o planejamento urbano e as decisões dos gestores do município. Sendo

que a população mais pobre acabou por ser a mais prejudicada, pois instalou-se em locais irregulares, que os faz conviver com a incerteza de como será o amanhã.

Por fim, destaca-se a importância do planejamento urbano de um município, que deve atender às necessidades da comunidade, que vão desde à moradia da população até a identificação de áreas adequadas para a gestão dos resíduos sólidos. Neste sentido, o planejamento urbano atua como um instrumento regulador, pois estabelece qual a função de cada região do município e, conseqüentemente, visa garantir a função social do município.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Brasil. O 1º autor, Diogo Appel Colvero, é investigador do CNPq, Processo n.º 207172/2014-5.

Referências Bibliográficas

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997). *NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas Públicas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2016). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015*. São Paulo. Retrieved from http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm
- Almeida, M. G. de. (2005). Fronteiras, territórios e territorialidades. *Revista da ANPEGE*, 2(2), 103–114. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.5418/ra.v2i2.86>
- Amaral, A. K. N., Costa, F. D. R., & Ribeiro, N. V. (2017). Avaliação da área de disposição final de resíduos sólidos no município de Goiânia – GO. *Ateliê Geográfico*, 11(2), 205–222.
- AMTEC – Agência Municipal de Ciência Tecnologia e Inovação e de Goiânia. (2011). *Ortofoto do município de Goiânia*. Goiânia/GO.
- Brasil. Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981. (1981). Brasília, DF: Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm
- Brasil. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. (1988). Presidência da República. Casa Civil. Subchefia de assuntos jurídicos. 35a edição. 2012. Biblioteca digital da Câmara dos deputados. Centro de documentação e informação. Coordenação de biblioteca. Brasil.
- Brasil. Lei n.º 10.257, de 10 de julho de 2001. (2001). Brasília, DF: Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm
- Brasil. Decreto n.º 4.297, de 10 de julho de 2002. (2002). Brasília, DF: Regulamenta o art. 9o,

- inciso II, da Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4297.htm
- Brasil. Lei n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007. (2007). Brasília, DF: Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei n.º 6.528, de 11 de maio de 1978. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm
- Brasil. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. (2010). Brasília, DF: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm
- Brito, B. N. de, Santos, G. M. dos, & Campos, A. C. (2013). Identificação de Processos de degradação ambiental urbana utilizando sistemas de informações geográficas: microbacia do Córrego Caveiras, Goiânia - Goiás. In IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental (pp. 1–9). Salvador, BA, Brasil: IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais.
- Bulcão, L. G., & Albano, H. D. A. (2010). O gerenciamento de resíduos sólidos na região metropolitana II do Estado do Rio de Janeiro. *Revista de Gestão Social E Ambiental*, 4, 75–85. <https://doi.org/10.5773/rgsa.v4i2.270>
- Carlos, A. F. A. (1996). *O lugar no/do mundo* (Vol. 1). São Paulo: FFLCH.
- Chelotti, M. C. (2010). Reterritorialização e identidade territorial. *Sociedade & Natureza*, 22(1), 165–180. <http://doi.org/10.1590/S1982-45132010000100012>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. (2017). Municipal solid waste in Goiás (Brazil): current scenario and projections for the future. *Journal of Sedimentary Environments*, 2(3), 236–249. <https://doi.org/10.12957/jse.2017.31131>
- Colvero, D. A., Pfeiffer, S. C., & Carvalho, E. H. de. (2016). Materiais recicláveis provindos dos resíduos urbanos: caso de estudo para o estado de Goiás, Brasil. In P. J. Ramísio, G. A. Lopes, L. M. C. Pinto, F. Leite, & M. J. Rosa (Eds.), *A Engenharia Sanitária nas Cidades do Futuro: Livro de Comunicações do 17.o Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental/ENASB* (pp. 713–720). Lisboa.
- COMURG – Companhia de Urbanização de Goiânia. (2012). Aterro sanitário de Goiânia. Goiânia, GO, Brasil.
- Conde, T. T., Stachiw, R., & Ferreira, E. (2014). Aterro sanitário como alternativa para a preservação ambiental. *Revista Brasileira de Ciências Da Amazônia*, 3(1), 69–80.
- Costa, H. S. de M., Campante, A. L. G., & Araújo, R. P. Z. de. (2011). A dimensão ambiental nos planos diretores de municípios brasileiros: um olhar panorâmico sobre a experiência recente. In O. A. dos S. Júnior & D. T. Montandon (Eds.), *Os Planos Diretores Municipais pós-Estatuto da Cidade: balanço crítico e perspectivas* (pp. 173–217). Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Cidades: IPPUR/UFRJ. Retrieved from http://www.observatoriodasmetrolopes.net/download/miolo_plano_diretor.pdf
- Cruz, V. do C. (2007). Itinerários teóricos sobre a relação entre território e identidade. In A. C. A. Bezerra, C. U. Gonçalves, F. R. do Nascimento, & T. A. Arrais (Eds.), *Itinerários*

- geográficos* (pp. 13–36). Niterói: Ed UFF.
- Cymbalista, R. (2006). A trajetória recente do planejamento territorial no Brasil: apostas e pontos a observar. *Revista Paranaense De Desenvolvimento*, jul/dez (111), 29–45. Retrieved from <http://www.ipardes.gov.br/ojs/index.php/revistaparanaense/article/view/60/63>
- D’Almeida, M. L. O., & Vilhena, A. (2000). Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. (I. – I. de P. T. do E. de S. Paulo & C. – C. E. para Reciclagem, Eds.) (Livroilus). São Paulo, SP, Brasil.
- DaMatta, R. (2000). O que faz o brasil, Brasil? A questão da identidade. In R. DaMatta (Ed.), *O que faz o brasil, Brasil?* (pp. 9–23). Rio de Janeiro. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Erwes, H., Prado, W. da S., Brito, J. L. N. e S., & Koatz, G. D. (2012). Documentação precisa da arquitetura moderna – utilização de metodologias tridimensionais. *Revista Fórum Patrimônio*, 4(2), 1–13.
- Etges, V. E. (2008). Territórios rurais: a região fumicultura no Sul do Brasil. In Á. L. Heidrich, B. P. da Costa, C. L. Z. Pires, & V. Ueda (Eds.), *A emergência da multiterritorialidade: A ressignificação da relação do humano com o espaço* (pp. 137–144). Canoas: Ulbra.
- Fischer, G.-N. (1994). Os espaços sociais paralelos. In G.-N. Fischer (Ed.), *Psicologia social do ambiente* (Silva, A., pp. 173–194). Lisboa: Instituto Piaget.
- Garcia, M. B. dos S., Lanzellotti Neto, J., Mendes, J. G., Xerfan, F. M. de F., Vasconcellos, C. A. B. de, & Friede, R. R. (2015). Resíduos sólidos: responsabilidade compartilhada. *Semioses*, 9(2), 77–91. <https://doi.org/10.15202/1981996X.2015v9n2p77>
- Goiânia. Lei complementar n.º 171 de 29 de maio de 2007 (2007). Dispõe sobre o Plano Diretor e o processo de planejamento urbano do Município de Goiânia e dá outras providências. Retrieved from http://www.goiania.go.gov.br/download/legislacao/PLANO_DIRETOR_DO_MUNICIPIO_DE_GOIANIA_2007.pdf
- Gouveia, N. (2012). Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17(6), 1503–1510. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600014>
- Grazia, G., Queiroz, L. L., Mota, A., & Santos, A. M. (2001). O desafio da sustentabilidade urbana. In *Série Cadernos Temáticos Brasil Sustentável e Democrático* (n. 5). Rio de Janeiro: FASE.
- IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal. (2007). Criação de municípios. Retrieved May 23, 2015, from ibam@ibam.org.br
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016). Cidades@Goiás [WWW Document]. URL <http://cod.ibge.gov.br/1V4> (accessed 12.4.16).
- IMB – Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. (2014). Regiões de planejamento 2013 – Estado de Goiás. Retrieved May 23, 2017, from <http://www.imb.go.gov.br/down/regplan2013.pdf>
- Lima, C. S. (2013). Os riscos e as vulnerabilidades vinculadas aos catadores de lixo. *Revista Terceiro Incluído*, 3(2), 57–71. <https://doi.org/10.5216/teri.v3i2.29798>

- Maricato, E. (2000). As ideias fora do lugar e o lugar fora das ideias. In O. Arantes, C. Vainer, & E. Maricato (Eds.), *A cidade do pensamento único: desmanchando consensos* (pp. 121–192). Petrópolis: Vozes.
- MDS – Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome. (2005). *Política nacional de assistência social – PNAS/2004 e norma operacional básica de serviço social – NOB/SUAS*. Brasília, DF. Retrieved from <http://www.mds.gov.br/assistenciasocial/secretaria-nacional-de-assistencia-social-snas/cadernos/politica-nacional-de-assistencia-social-2013-pnas-2004-e-norma-operacional-basica-de-servico-social-2013-nobsuas>
- Mota, F. S. B. (2011). *Urbanização e meio ambiente* (4ª ed.). Rio de Janeiro - Fortaleza: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES.
- Nascimento, B. F. do, Silva, V. E. G. da, & Costa, M. C. L. (2010). Vulnerabilidade socioambiental no entorno do Aterro Sanitário Metropolitano de Oeste de Caucaia (ASMOC). In *Anais XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. Crise, práxis e autonomia: espaços de resistência e de esperanças. Espaço de Diálogos e Práticas* (pp. 1–14). Porto Alegre: AGB.
- Netto, C. R. B., & Santos, H. I. (2012). Avaliação da Operação do Aterro Sanitário de Catalão – Goiás. Univ. Católica Goiás. Pontifícia Universidade Católica de Goiás - PUC/GO.
- Netto, S. O. A., Vasconcellos, J. C. P. de, & Destri, A. R. (2013). Ortofotos digitais e Índice de Malmquist aplicados ao monitoramento de comunidades urbanizadas no município do Rio de Janeiro. In *XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR* (pp. 1114–1120). Foz do Iguaçu, PR, Brasil: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232013000100006>
- Oliveira, M. A. de, & Gonçalves, N. da S. (2015). Estudo comparativo entre o aterro sanitário de Samambaia x lixão da Estrutural. Universidade Católica de Brasília.
- Pina, J. H. A., Lima, O. A. de, & Silva, V. de P. da. (2008). Município e distrito: um estudo teórico. *Campo-Território: Revista de Geografia Agrária*, 3(6), 125–142.
- Pinto, G. J. (2002). Município, descentralização e democratização do Governo. *Revista Caminhos de Geografia*, 3(6), 1–21.
- Rezende, D. de A. (2011). *Áreas rurais remanescentes no meio urbano: o Plano Diretor e o ordenamento territorial de Goiânia* (Master's thesis). Pontifícia Universidade Católica de Goiás.
- Rolnik, R. (2006). A construção de uma política fundiária e de planejamento urbano para o país: avanços e desafios. *IPEA, Políticas Sociais -Acompanhamento E Análise*, 12, 199–210. Retrieved from http://desafios2.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/politicas_sociais/ensaio1_raquel12.pdf
- Santos, M. (2002). O dinheiro e o território. In M. Santos, B. K. Becker, C. A. F. da Silva, C. W. P. Gonçalves, E. Limonad, F. G. de Almeida, ... J. L. Barbosa (Eds.), *Território, territórios: ensaios sobre o ordenamento territorial* (pp. 9–20). Rio de Janeiro: DP&A.
- Sasaki, R. S. A., Leles, C. R., Malta, D. C., Sardinha, L. M. V., & Freire, M. do C. M. (2015). Prevalência de relação sexual e fatores associados em adolescentes escolares de Goiânia,

- Goiás, Brasil. *Revista Ciência & Saúde Coletiva*, 20(1), 95–104.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1413-81232014201.06332014>
- SECIMA/GO – Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. (2015). Nota técnica – aterros sanitários. Goiânia, GO, Brasil, Brasil.
- SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás. Resolução n.º 005/2014 – CEMAm, de 26 de fevereiro. (2014). Goiânia/GO: Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental dos projetos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, na modalidade aterro sanitário, nos municípios do Estado de Goiás.
- SEPLAN – Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento do Estado de Goiás. (2012). Ortofoto aterro sanitário de Goiânia – 2011. Goiânia, GO, Brasil.
- SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. (2015). SIG – Shapefiles. Retrieved from <http://www2.sieg.go.gov.br/post/ver/171319>
- Silva, J. B. (2002). Cidadania, lugar e globalização. In M. M. Valença & R. de C. da C. Gomes (Eds.), *Globalização e desigualdade* (pp. 136–151). Natal: A. S. Editores.
- Silva, N. L. da S. (2011). Aterro sanitário para resíduos sólidos urbanos – RSU – matriz para seleção da área de implantação. Universidade Estadual de Feira de Santana.
- Smith, N. (2006). A gentrificação generalizada: de anomalia local para “regeneração” urbana como estratégia urbana global. In C. Bidou-Zachariasen, D. Hiernaux-Nicolas, & H. R. d’Arc (Eds.), *De volta à cidade: dos processos de gentrificação às políticas de “revitalização” dos centros urbanos* (pp. 59–87). São Paulo: Annablume.
- Souza, H. A. de, Campos, A. C., & Malheiros, R. (2014). Ocupação de área de recarga da microbacia do Córrego Caveirinha em Goiânia, GO. In V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental (pp. 1–6). Belo Horizonte, MG, Brasil: IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais.
- Sposati, A. (2006). A fluidez da inclusão/exclusão social. *Revista Tendências: Caderno de Ciências Sociais*, 58(4), 4–5.
- Stamm, C. (2013). Determinantes do movimento de trabalhadores pendulares na aglomeração urbana do nordeste do Rio Grande do Sul: uma análise a partir dos transportes coletivos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

SECÇÃO C – RU em Goiás, da produção de resíduos à legislação

Na Secção C são apresentados três estudos que contemplam a informação que permitiu obter os quantitativos de resíduos urbanos (RU) produzidos pelos 246 municípios de Goiás, assim como, realizar uma análise dos documentos legais, relativos aos RU. No primeiro destes três estudos, a partir de uma análise estatística, foram definidas as gerações *per capita* de RU dos municípios de Goiás, consoante a faixa populacional (número de habitantes) de cada município. Esta análise foi importante para se obter o quantitativo de RU que cada município goiano produz. No segundo estudo, realizou-se uma projeção populacional e, consequentemente, uma estimativa da produção de RU para os 246 municípios goianos até o ano de 2040. Além de fornecer as estimativas da produção de RU, a projeção populacional de Goiás até 2040 foi relevante para um dos estudos que será apresentado na Secção D, acerca das áreas livres ou restritas para a instalação de aterros. Isto porque a partir das projeções populacionais pode-se estabelecer os *buffers* das distâncias mínimas entre futuros aterros e o perímetro urbano. No terceiro estudo desta secção fez-se um levantamento dos documentos legais relativos à gestão dos RU no Brasil e em Goiás, assim como a legislação da Europa e de Portugal. Realizou-se este paralelo entre o Brasil e Portugal porque até meados dos anos 2000 somente um quarto da população portuguesa era servida por sistemas de gestão que destinavam adequadamente seus RU, e havia mais de 300 lixeiras em Portugal, situação semelhante com o cenário atual do Brasil (e de Goiás).

As informações apresentadas nesta secção foram adaptadas das seguintes publicações:

Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. (2017). Municipal solid waste in Goiás (Brazil): current scenario and projections for the future. *Journal of Sedimentary Environments*, 2(3), 236–249. <https://doi.org/10.12957/jse.2017.31131>

Colvero, D. A., Gomes, A. P., Matos, M. A. de, & Nunes, M. I. (2017). A gestão dos resíduos sólidos urbanos e a legislação: uma análise do caso de Portugal e as contribuições para do Estado de Goiás, Brasil. *Sodebrás*, 12(139), 148–157. Retrieved from <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N139.pdf>

Colvero, D. A., Pfeiffer, S. C., Carvalho, H. E. de, & Gomes, A. P. D. (2017). Avaliação da geração de resíduos sólidos urbanos no Estado de Goiás, Brasil: análise estatística de dados. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – RESA*, 22(51), 931-941. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017159448>

4. Avaliação da geração *per capita* de resíduos urbanos no Estado de Goiás, Brasil: análise estatística de dados

Resumo: A definição do sistema de gestão de resíduos urbanos (RU) mais adequado para um município passa, obrigatoriamente, pelo conhecimento do quantitativo de RU gerados. Este aspecto representa um problema que o Estado de Goiás, Brasil, enfrentava, pois poucos municípios possuíam a informação sobre o quantitativo de RU produzidos. Diante dessa questão, foi encaminhado um questionário aos municípios goianos, em que se procurou obter informação acerca dos resíduos sólidos, dentre as quais a geração *per capita* de RU, pois com este dado pode-se estimar a produção total de RU. Desse modo, o objetivo deste estudo foi obter os quantitativos *per capita* de RU gerados pelos municípios goianos, fornecidos via questionários, e compará-los através duma análise estatística com os quantitativos *per capita* de RU, obtidos em estudos realizados em municípios do Estado. Os resultados da geração *per capita* de RU fornecida pelos municípios apontaram que quanto menores os municípios (em termos populacionais), maior a geração *per capita* de RU, o que vai contra às pesquisas científicas, que mostram que quanto maior a população, maior a produção de resíduos por pessoa. Para municípios com população até 50 mil habitantes, há diferenças significativas entre a geração *per capita* de RU obtida nos questionários e a geração *per capita* teórica; já para municípios com mais de 50 mil habitantes, os valores não são significativamente diferentes. Os dados dos questionários relevaram, ainda, que não há correspondência entre a geração *per capita* de RU e o número de habitantes, outro dado contrário ao que define a teoria. De qualquer modo, a partir deste estudo será possível estimar os quantitativos de RU gerados pelos municípios goianos, o que auxiliará na decisão sobre as tecnologias mais adequadas para gerir estes resíduos em Goiás.

Palavras-chave: Resíduos urbanos; geração *per capita*; análise estatística; testes paramétricos e não paramétricos; Goiás.

4.1. Introdução

No Brasil, desde que foi criada em 2010 a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), através da Lei n.º 12305 (Brasil, 2010), o país discute a questão da gestão adequada dos resíduos urbanos (RU). Entretanto, a gestão dos RU nos municípios

brasileiros ainda é deficitária, o que se agrava com o crescimento anual na produção destes resíduos no país (Andrade & Ferreira, 2011).

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), só no ano de 2014 o Brasil produziu cerca de 78,6 milhões de toneladas de RU, o que corresponde a um crescimento de 2,9% em comparação ao ano anterior. Do total de RU produzidos no país, 90,6% foram recolhidos, o que evidencia que o Brasil caminha para uma cobertura do serviço de coleta que sirva toda a população. Entretanto, do montante de RU recolhido, 58,3% foram destinados para aterros licenciados e o restante teve como destino lixeiras e aterros controlados (ABRELPE, 2015). Esse panorama dos RU é preocupante, pois o país foca a gestão destes resíduos na deposição final, que necessita de grandes áreas, e não se atenta para a necessidade de desviar parte dos RU dos aterros (Abramovay, Speranza, & Petitgand, 2013; MMA, 2012).

O aterro licenciado é um sistema de deposição final de RU que é construído e operado a partir do cumprimento de especificações técnicas, dentre outras, como a escolha de uma área apropriada, tratamento de efluentes líquidos e gasosos, compactação e recobrimento do maciço de resíduos, acesso controlado por portão e guarita, pesagem dos resíduos. Já o aterro controlado (ou aterro não licenciado) normalmente são antigas lixeiras que passaram por um processo de readequação para receber os resíduos, que pode abranger o isolamento da área para evitar o acesso de pessoas e animais, captação do lixiviado, a compactação e o recobrimento dos resíduos. Enquanto que as lixeiras se caracterizam pelo simples despejo dos resíduos no solo, sem quaisquer medidas de proteção ambiental e da saúde da população (Barboza, 2013).

Um dos Estados do Brasil que retratam o panorama da má gestão dos RU é Goiás. De acordo com levantamento realizado pela Secretaria do Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos – SECIMA/GO em 2015, dos 246 municípios goianos, apenas 16 contavam com aterros devidamente licenciados, o que dificulta a deposição final adequada dos resíduos gerados. Os demais municípios do Estado enviavam seus resíduos sólidos para aterros não licenciados ou lixeiras (SECIMA/GO, 2015).

Para mudar a situação da gestão dos RU em Goiás, primeiramente os municípios goianos devem resolver outro problema: a falta de informações acerca da geração *per capita* de RU e, conseqüentemente, dos quantitativos totais de RU produzidos no Estado.

Somente após conhecer a quantidade de RU produzida é que será possível definir qual o método de gestão mais adequado e, conseqüentemente, quais as tecnologias mais apropriadas para tratar os resíduos sólidos de Goiás (Assamoi & Lawryshyn, 2012).

Este estudo se justifica pelo facto de que com o quantitativo de RU que cada pessoa produz nos municípios de Goiás, será possível estimar a produção total de RU no Estado e, conseqüentemente, procurar alternativas para o tratamento adequado destes resíduos. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi realizar uma análise estatística da geração *per capita* de resíduos urbanos nos municípios do Estado de Goiás.

4.1.1. Estatística descritiva e inferência estatística: uma breve descrição

A análise descritiva é o primeiro passo em um estudo estatístico, pois permite que a amostra (n) seja caracterizada, sem que haja manipulação dos dados (Marôco, 2014; Pauletto, 2010). Para isso são utilizadas as medidas de tendência central, como a média (\bar{x}), a mediana (\tilde{x}) e a moda (Mo), que possibilitam a caracterização do valor que ocorre com mais frequência. Também são importantes as medidas de dispersão, como o desvio padrão (s), o valor mínimo, o valor máximo, os quartis, que apontam a dispersão em torno das estatísticas de tendência central (Marôco, 2014).

Após a análise descritiva, realiza-se a inferência estatística, que testa se a amostra se ajusta devidamente a determinada distribuição teórica. A inferência estatística possibilita que seja testada a significância de elementos que podem influenciar na resposta da variável mensurada, que é a variável para a qual se deseja examinar se o tratamento teve ou não um efeito significativo (Marôco, 2014). Para este estudo foram utilizadas as metodologias dos testes paramétricos e não paramétricos.

Os testes paramétricos são utilizados quando se conhece a distribuição da amostra, em que a distribuição normal é a mais usada. De forma geral, são testes mais robustos aos não paramétricos, pois a probabilidade de corretamente rejeitar ou não a hipótese nula (H_0), a partir da afirmação ou negação da hipótese alternativa (H_1), é maior nesses testes. Já nos testes não paramétricos, não há exigência de conhecer a distribuição da amostra. Entretanto, são testes que só devem ser aplicados quando não há possibilidade de validar as condições de aplicação a partir dos testes paramétricos. Dessa forma, primeiro utilizam-se os testes paramétricos e, caso não se obtenham validações, aplicam-se os não paramétricos (Marôco, 2014).

4.1.2. Condições de aplicação dos testes paramétricos

Para realizar uma análise estatística (testes paramétricos), deve-se verificar as condições de aplicações de testes (Marôco, 2014):

- Testar a normalidade dos dados utilizando os testes paramétricos de *Shapiro-Wilk* (SW) ou de *Kolmogorov-Smirnov* (KS), de acordo com a dimensão de cada amostra. Para $n < 30$ utiliza-se o teste de SW; para $n > 30$, o teste de KS.
- Para os casos em que há normalidade, realiza-se um *teste t-Student* (t-S) ou outro teste paramétrico. Para os demais, faz-se um teste de *Wilcoxon* (W), ou outro teste não paramétrico.

Na Figura 4-1 está apresentada a estratégia definida para a aplicação de testes estatísticos neste estudo.

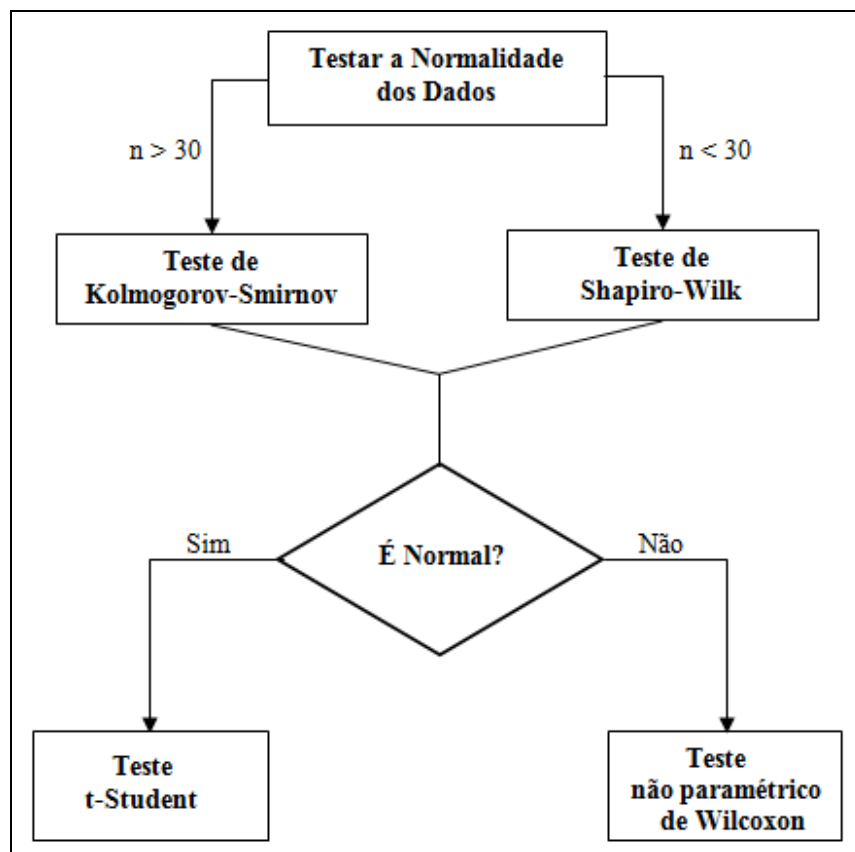


Figura 4-1: Árvore de decisões para aplicar os testes estatísticos.

4.1.3. Teste da normalidade dos dados

Conforme mencionado, para verificar a normalidade dos dados, utilizaram-se os testes de KS ou de SW.

Segundo Marôco (2014), o teste de *KS* é utilizado para definir se a distribuição da variável dependente $F(Y)$, que está sob análise em uma amostra, decorre de uma população com distribuição específica $F_0(Y)$.

Assim como *KS*, o teste de *SW* é uma metodologia utilizada para verificar se a variável do estudo possui ou não distribuição normal (N). Em ambos os testes, o intuito é testar se a distribuição da variável é ou não normal de acordo com os parâmetros média da população (μ) e desvio padrão da população (σ), independentemente dos valores destes, isto é, deseja-se testar:

$$H_0 : F(Y) \sim N(\mu, \sigma) \quad \text{versus} \quad H_1 : F(Y) \neq N(\mu, \sigma), \quad \text{sendo } N(0,1).$$

Para realizar o teste da normalidade e estabelecer o tipo de teste a ser utilizado, foi necessário definir qual *Valor-p* (p) se deve usar. Esse indicador refere-se à probabilidade de se encontrar, em determinada amostra representativa da população, o valor da estatística a ser testado, ou um valor mais extremo no sentido definido pela H_1 , se H_0 for verdadeira nessa população. Em outras palavras, o p é o menor valor de nível de significância (α) a partir do qual H_0 é rejeitada (Gujarati & Porter, 2011; Marôco, 2014). Pode-se dizer também que, quanto menor for o p , mais forte será a evidência contra a hipótese nula, ou seja, que os resultados obtidos são distintos daqueles que se esperava obter se a H_0 fosse verdadeira (Fisher, 1973 citado por Marôco, 2014).

A definição do p deve ficar a critério do investigador (Marôco, 2014). Para este estudo, definiu-se que o α será igual a 0,05. Ou seja, se $p < 0,05$, rejeita-se H_0 ; se $p > 0,05$, não se rejeita H_0 .

Com o p obtém-se o intervalo de confiança (*IC*), que é calculado com a seguinte expressão:

$$IC = (1 - \alpha) \cdot 100\%$$

Assim:

$$IC = (1 - 0,05) \cdot 100\% = 95\%$$

Assim, o *IC* utilizado é igual a 95%. Isso significa que o resultado estará dentro do intervalo definido em 95 dos 100 estudos realizados, ou seja, em 95% das amostras realizadas haverá um resultado dentro do intervalo de confiança (Field, 2013).

4.1.4. Teste *t-Student* e teste de *Wilcoxon*

O teste *t-S* é um teste de hipótese que utiliza conceitos estatísticos para rejeitar ou não uma hipótese nula quando a estatística de teste mantém uma distribuição normal, mas

a variância da população não é conhecida. Dessa forma, usa-se a variância da amostra, de forma que a estatística de teste passa a seguir uma distribuição de t -S (Silva, 2014). É um teste aplicado para comparar médias de duas populações (Marôco, 2014).

Já o teste de W utiliza a mediana populacional (θ) em vez da μ . É um teste aplicado para comparar a medida de tendência central da população do estudo com determinado valor teórico (Marôco, 2014).

4.2. *Materiais e Métodos*

4.2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado no Estado de Goiás, situado na região Centro-Oeste do Brasil e que faz fronteira com os Estados do Tocantins, Minas Gerais, Bahia, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Governo de Goiás, 2015). Segundo o último censo demográfico oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), em 2010, Goiás possuía 6 003 788 habitantes em 246 municípios, distribuídos em 340 111 km², sendo o sétimo maior Estado brasileiro em extensão territorial.

4.2.2. Geração *per capita* de resíduos urbanos nos municípios goianos

Para a obtenção da geração *per capita* diária de RU por município do Estado de Goiás, foi feita, inicialmente, a análise de dados primários oriundos de um questionário com perguntas abertas e fechadas que foi encaminhado em 2013 aos municípios através da SECIMA/GO. No total 220, municípios (89%) responderam aos questionários, o que significa dizer que a amostra é representativa para a análise em questão.

Assim, com base nos valores de geração diária de RU relatados nos questionários e também no numerário da população total, informação obtida em IBGE (2010), foi possível calcular as gerações *per capita* de RU para cada município. Entretanto, antes de trabalhar com os dados da geração *per capita* de RU fornecida pelos municípios, agruparam-se os municípios pelos quantitativos de habitantes, pois pesquisas mostram que quanto maior a população de um município, maior será a geração *per capita* de resíduos urbanos (IBAM, 2001). De modo que os municípios goianos foram distribuídos em seis faixas populacionais (*Categorias 1 a 6*), para que fosse possível realizar uma análise estatística da produção de RU em municípios com populações similares. Essas categorias foram organizadas a partir de dados populacionais do Estado de Goiás e adaptadas do estudo de NURSOL/UFG (2014).

Para que fosse possível avaliar a informação fornecida pelos municípios goianos nos questionários, adotou-se valores de geração *per capita* que pudessem ser utilizados como referência. Estes dados foram obtidos por meio de revisão de literatura em seis estudos que apontam a geração *per capita* de RU em municípios goianos de diferentes portes populacionais, conforme apresentado na Tabela 4-1. É importante ressaltar que estes estudos foram escolhidos devido à fiabilidade dos resultados obtidos e a metodologia científica utilizada para a obtenção da geração *per capita* de RU.

Tabela 4-1: Valores de geração *per capita* de resíduos urbanos, por diferentes faixas populacionais.

Município de Goiás	População (habitantes)	Geração <i>per capita</i> de RU (kg·hab ⁻¹ ·dia ⁻¹)	Referência
Simolândia	5 378	0,46	Melo (2005)
Hidrolândia	10 470	0,54	Carvalho & Ferreira (2005)
Goianésia	55 560	0,67	Carvalho (2003)
Anápolis	328 755	0,88	NURSOL/UFG (2014)
Aparecida de Goiânia	455 193	0,83	NURSOL/UFG (2014)
Goiânia	1 297 076	1,00	NURSOL/UFG (2014)

4.2.3. Análise estatística dos dados

Para analisar os dados dos quantitativos de resíduos urbanos dos municípios de Goiás (fornecidos via questionário) no ano de 2013, foram utilizadas técnicas estatísticas como análise descritiva e exploratória, comparação inferencial de grupos com testes paramétricos e não paramétricos, diagrama de dispersão (DD) e regressão linear (Marôco, 2014). A análise estatística foi executada utilizando-se o *software* estatístico *IMB SPSS*, versão 23.0.

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Estimativa dos valores de geração *per capita* de resíduos urbanos e estatísticas descritivas

De acordo com o número de municípios que respondeu ao questionário, foi possível obter o número das amostras (*n*) por faixa populacional. Verificou-se que 41,4% dos municípios goianos que responderam ao questionário estão na faixa populacional de até 5 mil habitantes (Tabela 4-2).

Tabela 4-2: Número de municípios goianos que responderam ao questionário (em 2013), por faixa populacional.

Faixa populacional dos municípios de Goiás – habitantes (adaptado de IBGE, 2010; NURSOL/UFG, 2014)	Total de municípios goianos		Municípios goianos que responderam ao questionário	
	<i>n</i>	(%)	<i>n</i>	(%)
Até 5 000 (<i>Categoria 1</i>)	100	52,5	91	41,4
5 001 a 10 000 (<i>Categoria 2</i>)	55	19,5	51	23,2
10 001 a 20 000 (<i>Categoria 3</i>)	39	12,7	33	15,0
20 001 a 50 000 (<i>Categoria 4</i>)	32	9,0	29	13,2
50 001 a 100 000 (<i>Categoria 5</i>)	11	4,0	10	4,5
Superior a 100 000 (<i>Categoria 6</i>)	9	2,3	6	2,7
Total	246	100,0	220	100,0

Com o intuito de estabelecer os valores estimados de geração *per capita* de RU para todos os municípios goianos (a partir dos dados apresentados na Tabela 4-1), fez-se no *software Office Excel* 2010 a identificação da função matemática que melhor os ajustariam. A função com coeficiente de correlação mais próximo da unidade foi a potência ($R^2=0,9819$), conforme apresentado na Figura 4-2.

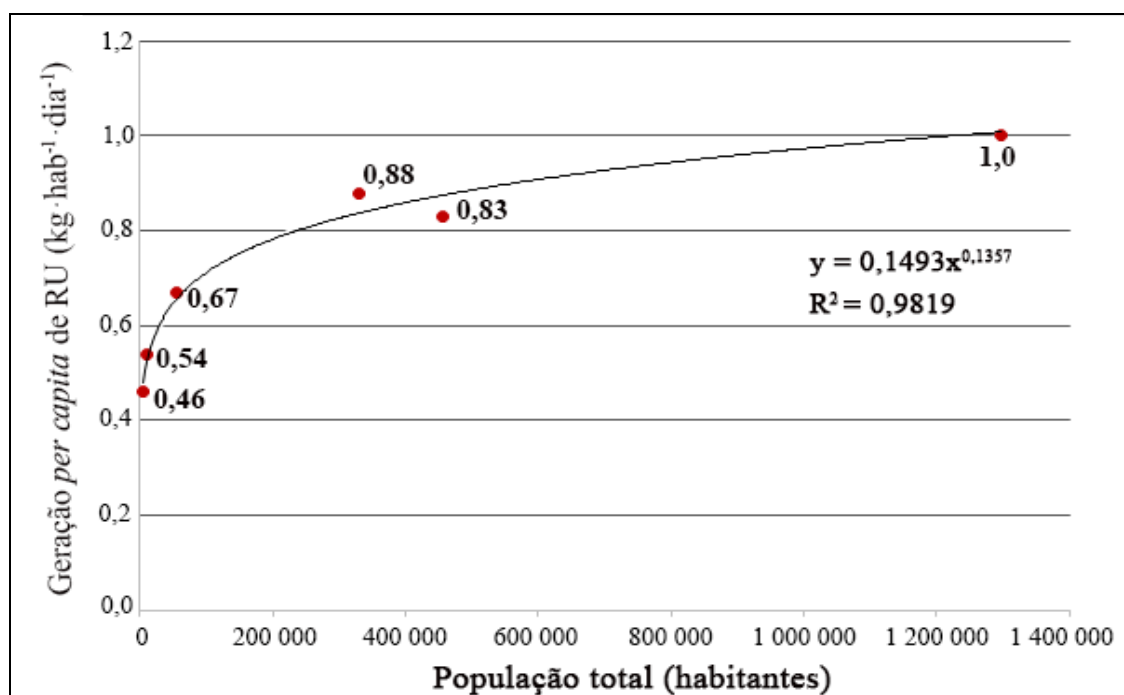


Figura 4-2: Função de ajuste dos valores de geração *per capita* de resíduos urbanos determinados em pesquisas científicas para o Estado de Goiás.

Sendo assim, foi possível estimar a geração *per capita* de RU dos 246 municípios goianos. Na Tabela 4-3 é apresentada a projeção para o Estado de Goiás, por faixa populacional, da produção *per capita* de RU, assim como as médias e medianas dessas

produções para cada categoria, pois são as estatísticas mais usadas para obter as medidas de tendência central (Marôco, 2014).

Para melhorar a fluidez do texto, as faixas populacionais apresentadas na Tabela 4-3 também foram organizadas por categorias: a faixa até 5 000 habitantes será a *Categoria 1*; a faixa de 5 001 a 10 000 habitantes será a *Categoria 2*; e assim sucessivamente até a *Categoria 6*, para municípios com população superior a 100 000 habitantes.

Os dados da Tabela 4-3 mostram que, a partir dos dados dos questionários, a *Categoria 1* tem a maior média de geração *per capita* ($1,17 \text{ kg}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$), assim como o maior desvio padrão ($1,352 \text{ kg}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$), o que evidencia uma maior dispersão dos valores em relação à média. Com relação às outras categorias, à medida que a faixa populacional aumenta, a média da geração diminui (exceto da *Categoria 2* para a *Categoria 3*, em que a média aumenta). Esse resultado vai contra a literatura, que menciona que, quanto maior a população de um município, maior a geração de RU por habitante (IBAM, 2001). As *Categorias 2 a 6* têm também menor desvio padrão, sendo que a última faixa populacional é a que apresenta menor desvio padrão, ou seja, menor dispersão.

Além disso, com exceção da média da geração *per capita* das populações superiores 100 000 habitantes, as médias e medianas de todas as categorias são maiores para as respostas dadas aos questionários do que para os valores estimados. Do mesmo modo, quanto maior a faixa populacional, mais os valores declarados nos questionários se aproximam dos estimados.

Tabela 4-3: Geração *per capita* de resíduos urbanos em 2010 (estimada e questionários), por faixa populacional, para Goiás.

Faixa populacional para os municípios de Goiás (habitantes)		Geração <i>per capita</i> de RU – estimada ($\text{kg}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$)		Geração <i>per capita</i> de RU – questionários ($\text{kg}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$)		
		Média (\bar{x})	Mediana (\tilde{x})	Média (\bar{x})	Mediana (\tilde{x})	Desvio padrão (s)
Até 5 000	(<i>Categoria 1</i>)	0,46	0,46	1,17	0,90	1,353
5 001 a 10 000	(<i>Categoria 2</i>)	0,50	0,50	0,91	0,87	0,291
10 001 a 20 000	(<i>Categoria 3</i>)	0,54	0,54	0,97	0,95	0,387
20 001 a 50 000	(<i>Categoria 4</i>)	0,60	0,60	0,89	0,86	0,304
50 001 a 100 000	(<i>Categoria 5</i>)	0,68	0,69	0,84	0,77	0,251
Superior a 100 000	(<i>Categoria 6</i>)	0,80	0,77	0,80	0,85	0,177

Para complementar a estatística descritiva das médias, medianas e do desvio padrão, utilizaram-se histogramas de frequência. Esse recurso possibilitou uma representação gráfica adequada dos tipos de dados à disposição, na qual a variável é organizada em classes (eixo das abscissas) e a frequência de cada classe é apresentada no eixo das ordenadas. Pode-se ver nos histogramas das *Categorias 2, 3 e 4* que as distribuições são normais. Entretanto, essa situação oferece apenas uma ideia da normalidade dos dados, facto que será comprovado, ou não, nas análises estatísticas apresentadas a seguir. Estes histogramas de frequência da geração *per capita* de RU obtidos nos questionários, por categoria, dos municípios goianos estão apresentados na Figura 4-3.

Com a geração *per capita* de RU para cada faixa populacional definida (tanto a geração *per capita* estimada quanto a obtida pelo questionário), é possível quantificar a produção total desses resíduos para cada categoria (Tabela 4-4). Verifica-se que, tanto pelas respostas do questionário, quanto pelas estimativas, os municípios com mais de 100 mil habitantes (que em Goiás são nove) geram a maior parte dos RU do Estado (48% e 59% do total de RU, respetivamente). Também se observa que a produção de RU estimada, que foi calculada com base em estudos já existentes, é cerca de 18% menor do que a produção de RU obtida a partir da geração *per capita* dos questionários.

Tabela 4-4: Produção total de RU em Goiás em 2013, estimada e fornecida pelos municípios (via questionários).

Faixa populacional para os municípios de Goiás (habitantes)		Produção total de RU, por faixa populacional (kg·hab ⁻¹ ·dia ⁻¹)	
		Estimada	Questionários
Até 5 000	(Categoria 1)	150,7	377,5
5 001 a 10 000	(Categoria 2)	193,3	348,6
10 001 a 20 000	(Categoria 3)	291,5	496,1
20 001 a 50 000	(Categoria 4)	600,8	887,5
50 001 a 100 000	(Categoria 5)	571,2	698,5
Superior a 100 000	(Categoria 6)	2 628,1	2 615,0
Total		4 435,6	5 423,2

Cabe salientar que, visando à obtenção do quantitativo total de RU gerados em Goiás, para os 26 municípios que não responderam ao questionário, utilizaram-se as medianas da produção de RU das faixas populacionais a que cada um desses municípios pertence. Optou-se por esse valor, em vez da média, por existirem muitos valores extremos de produção de RU, e a mediana garantir melhor precisão dos dados.

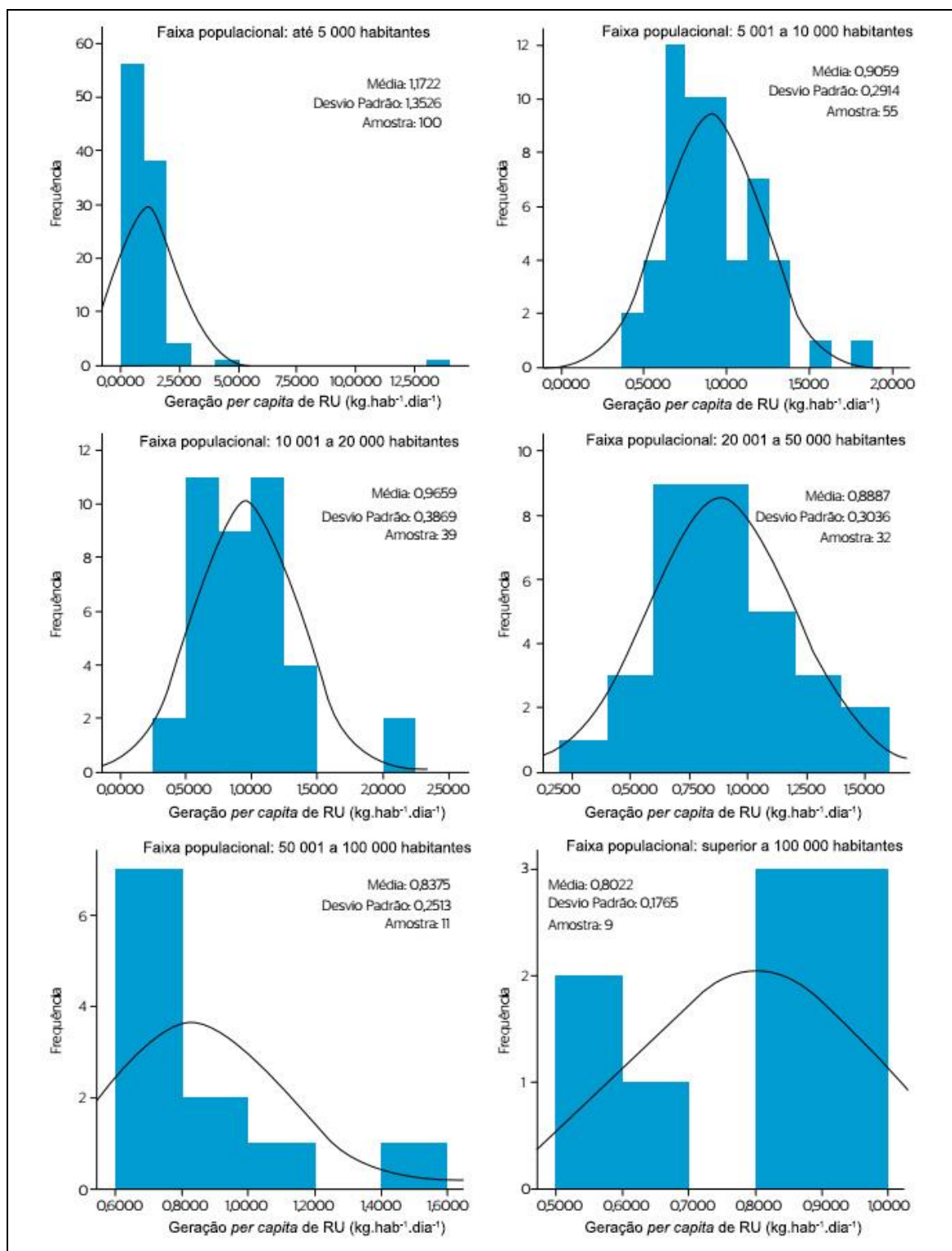


Figura 4-3: Histogramas da geração *per capita* de RU em Goiás em 2013, por faixa populacional.

Também foi possível calcular os quantitativos de RU gerados em cada uma das 10 regiões de planejamento de Goiás, divisão territorial definida pela Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento (SEGPLAN, 2013).

Verifica-se que, tanto a partir dos dados de geração fornecidos pelos municípios, quanto pela produção estimada, a região *Metropolitana de Goiânia* é a maior produtora de RU, enquanto a região *Noroeste Goiano* apresenta a menor produção desses resíduos. Essa informação auxiliará os decisores públicos do Estado na definição das tecnologias mais adequadas para a gestão dos RU em cada região de Goiás (Tabela 4-5).

Tabela 4-5: Estimativa da geração diária de RU em 2013 para as regiões do Estado de Goiás.

Região	Estimativa da geração – diária (t·dia ⁻¹)	Geração de RU – questionários (t·dia ⁻¹)
<i>Norte Goiano</i>	175,7	306,8
<i>Nordeste Goiano</i>	90,1	162,4
<i>Noroeste Goiano</i>	78,6	108,6
<i>Centro Goiano</i>	443,3	568,6
<i>Entorno do Distrito Federal</i>	734,9	729,5
<i>Oeste Goiano</i>	180,9	312,6
<i>Metropolitana de Goiânia</i>	1 975,7	2 086,9
<i>Sudeste Goiano</i>	147,5	250,3
<i>Sudoeste Goiano</i>	363,1	516,5
<i>Sul Goiano</i>	245,8	381,0
Estado de Goiás	4 435,6	5 423,2

4.3.2. Inferência estatística

Decidiu-se realizar um comparativo entre as médias da geração de RU fornecidas pelos municípios goianos, por faixa populacional, e a média ou mediana teóricas de cada categoria. Para isso, utilizaram-se as análises estatísticas definidas na árvore de decisões, conforme já apresentado na Figura 4-1.

4.3.3. Comparativo entre os dados da geração *per capita* de RU fornecidos pelos municípios goianos e os valores de referência, por faixa populacional

Sabendo-se o número de amostras de cada faixa populacional e os dados da geração *per capita* fornecidos pelos questionários, realizou-se o teste da normalidade por meio dos testes de *SW* ou de *KS*, conforme apresentado na Tabela 4-6. Os resultados apontaram que, para as *Categorias 1, 3 e 5*, a H_0 deve ser rejeitada, pois $p < 0,05$, ou seja, os dados da geração *per capita* fornecidos pelos municípios não seguem uma distribuição normal (existem diferenças significativas). Já para as *Categorias 2, 4 e 6*, não se deve rejeitar H_0 ($p > 0,05$), pois há uma distribuição normal (não existem diferenças significativas).

Tabela 4-6: Teste da normalidade, utilizando-se os testes de *Shapiro-Wilk* ou de *Kolmogorov-Smirnov*.

Faixa Populacional (habitantes)	Tamanho da amostra (n)	Valor-p	Teste aplicado	Resultado
Até 5 000 (Categoria 1)	100	< 0,001	KS	Rejeita H_0 , não segue uma distribuição normal
5 001 a 10 000 (Categoria 2)	55	0,200	KS	Não rejeita H_0 , segue uma distribuição normal
10 001 a 20 000 (Categoria 3)	39	0,037	KS	Rejeita H_0 , não segue uma distribuição normal
20 001 a 50 000 (Categoria 4)	32	0,200	KS	Não rejeita H_0 , segue uma distribuição normal
50 001 a 100 000 (Categoria 5)	11	0,015	SW	Rejeita H_0 , não segue uma distribuição normal
Superior a 100 000 (Categoria 6)	9	0,209	SW	Não rejeita H_0 , segue uma distribuição normal
KS: Teste de <i>Kolmogorov-Smirnov</i> ; SW: Teste de <i>Shapiro-Wilk</i> .				

Dessa forma, a partir dos resultados obtidos no teste da normalidade (ver Tabela 4-6), para aquelas situações em que não se rejeita H_0 foi feito teste t -S; já para aquelas em que a H_0 foi rejeitada realizou-se teste não paramétrico de W .

Os valores das médias, para o teste t -S, e das medianas, para o teste de W , estão apresentados na Tabela 4-7.

Tabela 4-7: Médias e medianas de referência utilizadas para os testes t -Student e de Wilcoxon.

Faixa Populacional (habitantes)		Parâmetro		Descrição
		Média	Mediana	
Até 5 000	(Categoria 1)	—	0,46	$H_0: \theta = 0,46$ versus $H_1: \theta \neq 0,46$
5 001 a 10 000	(Categoria 2)	0,50	—	$H_0: \mu = 0,50$ versus $H_1: \mu \neq 0,50$
10 001 a 20 000	(Categoria 3)	—	0,54	$H_0: \theta = 0,54$ versus $H_1: \theta \neq 0,54$
20 001 a 50 000	(Categoria 4)	0,60	—	$H_0: \mu = 0,60$ versus $H_1: \mu \neq 0,60$
50 001 a 100 000	(Categoria 5)	—	0,69	$H_0: \theta = 0,69$ versus $H_1: \theta \neq 0,69$
Acima de 100 000	(Categoria 6)	0,80	—	$H_0: \mu = 0,80$ versus $H_1: \mu \neq 0,80$

Com esses valores foi possível realizar os testes, conforme apresentado na Tabela 4-8. Os resultados mostram que, para as *Categorias 1 a 4*, deve-se rejeitar H_0 , pois os dados das gerações *per capita* fornecidos nos questionários são significativamente diferentes das médias e medianas teóricas. Já nas *Categorias 5 e 6*, o teste identificou que H_0 não pode ser rejeitada, pois as médias e medianas fornecidas pelos municípios não são significativamente diferentes das teóricas.

Isso pode estar relacionado ao facto de 30% dos municípios com população superior a 50 mil habitantes possuírem aterro licenciado, ou seja, contarem com uma balança para pesar os quantitativos que chegam à deposição final. Já entre os municípios com populações inferiores a 50 mil habitantes, apenas 4% têm aterro licenciado.

Tabela 4-8: Resultados dos testes *t-Student* e de *Wilcoxon*.

Faixa populacional (habitantes)	Tamanho da amostra (<i>n</i>)	Valor- <i>p</i>	Teste aplicado	Resultado
Até 5 000 (Categoria 1)	100	< 0,001	W	Rejeita H_0 , ou seja, a geração <i>per capita</i> mediana é significativamente diferente de 0,46
5 001 a 10 000 (Categoria 2)	55	< 0,001	<i>t-S</i>	Rejeita H_0 , ou seja, a geração <i>per capita</i> média é significativamente diferente de 0,50
10 001 a 20 000 (Categoria 3)	39	< 0,001	W	Rejeita H_0 , ou seja, a geração <i>per capita</i> mediana é significativamente diferente de 0,54
20 001 a 50 000 (Categoria 4)	32	< 0,001	<i>t-S</i>	Rejeita H_0 , ou seja, a geração <i>per capita</i> média é significativamente diferente de 0,60
50 001 a 100 000 (Categoria 5)	11	0,110	W	Não rejeita H_0 , ou seja, a geração <i>per capita</i> mediana não é significativamente diferente de 0,69
Acima de 100 000 (Categoria 6)	9	0,971	<i>t-S</i>	Não rejeita H_0 , ou seja, a geração <i>per capita</i> média não é significativamente diferente de 0,80

t-S: distribuição *t-Student*; W: Teste de *Wilcoxon*

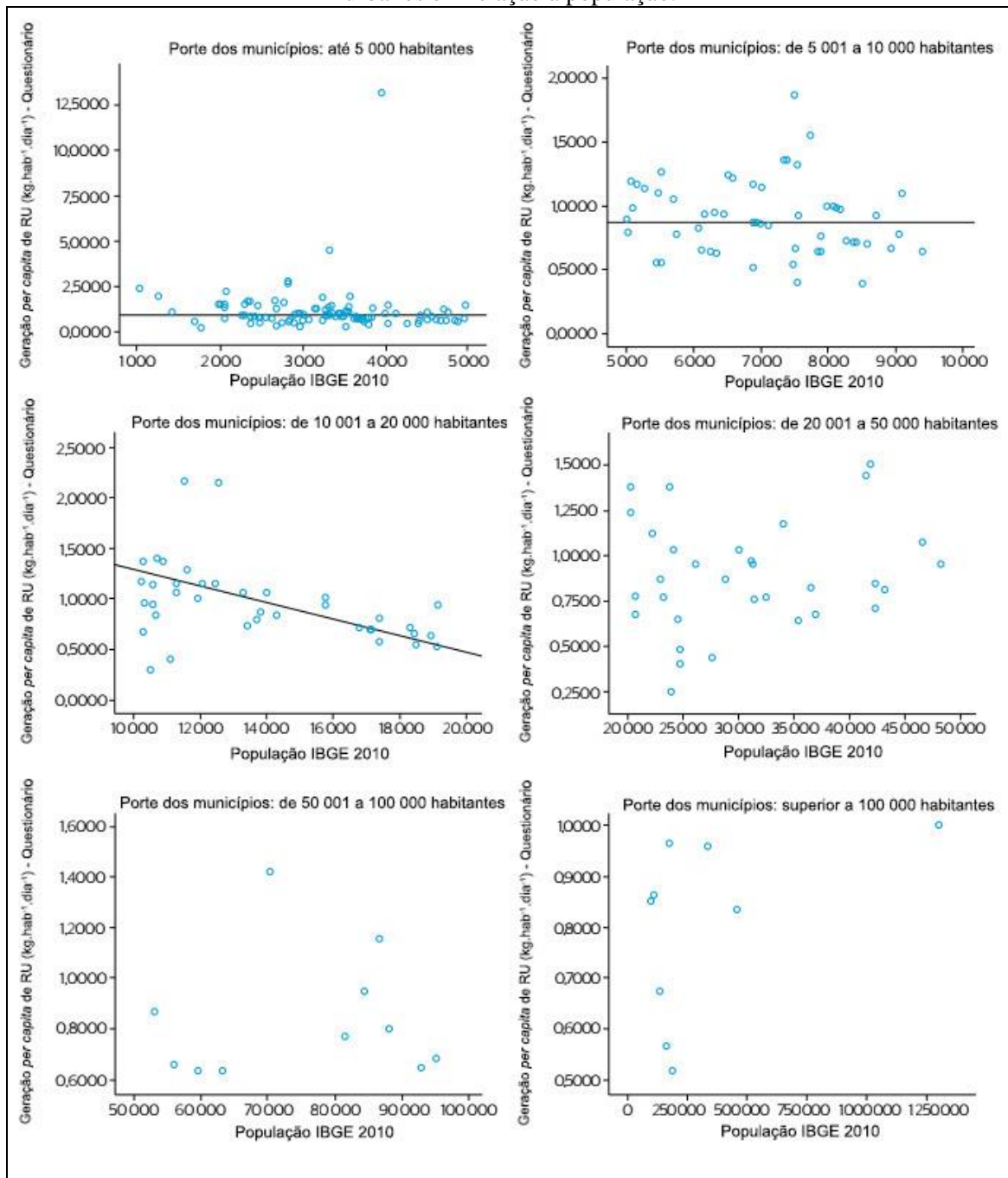
4.3.4. Relação entre as variáveis geração *per capita* de RU e o número de habitantes

Outra questão importante acerca dos questionários respondidos pelos municípios é verificar se há relação entre as variáveis geração *per capita* de RU, por categoria, e o número de habitantes. Para fazer essa verificação, utilizou-se um DD, que é utilizado para ilustrar a relação entre duas variáveis.

Nesse diagrama, as observações para cada uma das variáveis são representadas como pares ordenados (X_i, Y_i), sendo possível verificar se há tendência linear nos gráficos (Marôco, 2014). Para o DD, utilizaram-se as mesmas seis categorias apresentadas anteriormente, definidas a partir das faixas populacionais.

Os gráficos apontam que há uma linha de tendência apenas nas *Categorias 1, 2 e 3*. Nas *Categorias 4, 5 e 6*, não há linha de tendência (Figura 4-4). Isso significa que é possível calcular o coeficiente de correlação para as três categorias em que existe tendência linear.

Figura 4-4: Diagrama de dispersão (DD) e as linhas de tendência da geração *per capita* de resíduos urbanos em relação à população.



Para avaliar a correspondência entre as categorias que apresentam tendência linear, utilizou-se a correlação de *Pearson* (r). Esse método mede a intensidade e a direção da associação do tipo linear, desde que as duas variáveis sejam quantitativas (o que é o caso). Assim, escolheu-se r , coeficiente que varia entre -1 e +1 ($-1 \leq r \leq +1$). Se $r > 0$, as variáveis se alteram no mesmo sentido; se $r < 0$, as variáveis se alteram em sentidos opostos (Marôco,

2014). Além disso, o valor em módulo obtido indica a intensidade da associação. Com base em Marôco (2014), as faixas de classificação das correlações são apresentadas na Tabela 4-9.

Tabela 4-9: Classificação de dados em função do coeficiente de *correlação de Pearson*.

Coeficiente de <i>correlação de Pearson</i> (r)	Classificação da correlação
$r < 25\%$	Correlação fraca
$25\% \leq r < 50\%$	Correlação moderada
$50\% \leq r < 75\%$	Correlação forte
$r \geq 75\%$	Correlação muito forte

Fonte: Adaptado de Marôco (2014).

Os valores e as respectivas classificações da correlação de *Pearson* para as três categorias avaliadas são apresentados na Tabela 4-10. Os resultados apontam que, nas *Categorias 1* e *2*, o declive das retas é negativo e há uma correlação fraca, isto é, não há associação entre a geração *per capita* de RU e o número de habitantes. Já na *Categoria 3*, o declive da reta também é negativo, mas a correlação é moderada, ou seja, há correspondência entre a geração de RU e o porte populacional.

Tabela 4-10: Coeficiente de *Pearson* e a correlação entre a geração *per capita* de resíduos urbanos e o número de habitantes.

Faixa populacional (habitantes)	Tamanho da amostra (n)	Correlação de <i>Pearson</i> (r)	Resultado
Até 5 000 (<i>Categoria 1</i>)	100	- 0,041	O declive da reta é negativo, correlação fraca
5 001 a 10 000 (<i>Categoria 2</i>)	55	- 0,157	O declive da reta é negativo, correlação fraca
10 001 a 20 000 (<i>Categoria 3</i>)	39	- 0,435	O declive da reta é negativo, correlação moderada

Para complementar a correlação, decidiu-se realizar uma regressão linear univariada. Com os dados obtidos nos questionários, verificou-se a influência quantitativa que a variável independente número de habitantes (x) tem sobre a variável dependente geração *per capita* de RU (y).

O coeficiente de determinação (representado por R^2) é a mensuração da dimensão do efeito da variável y (dependente) sobre a variável x (independente). Na regressão linear, esse coeficiente é uma das estatísticas mais vulgares.

O valor de R^2 varia de $0 \leq R^2 \leq 1$: quando $R^2=0$, o modelo não se ajusta aos dados; quando $R^2=1$, o ajustamento é perfeito. Nas ciências exatas, quando $R^2>0,9$, os indicadores são considerados com bom ajustamento (Marôco, 2014). De acordo com os resultados da

regressão linear apresentados na Tabela 4-11, a relação entre os dados não é aceitável, ou seja, os modelos não estão ajustados aos dados. Para a *Categoria 3*, que possui o maior valor de R^2 , o resultado significa que 19% da produção de resíduos é explicada pelo número de habitantes.

Tabela 4-11: Regressão linear.

Faixa populacional (habitantes)	Tamanho da amostra (n)	Coefficiente de determinação (R^2)	Resultado
Até 5 000 (<i>Categoria 1</i>)	100	0,002	Modelo não ajustado aos dados, relação não aceitável
5 001 a 10 000 (<i>Categoria 2</i>)	55	0,025	Modelo não ajustado aos dados, relação não aceitável
10 001 a 20 000 (<i>Categoria 3</i>)	39	0,190	Modelo não ajustado aos dados, relação não aceitável

4.3.5. Comparativo entre a geração *per capita* de RU entre os municípios com e sem recolha diferenciada de materiais recicláveis

Além dos testes já realizados, decidiu-se fazer outras análises estatísticas para tentar compreender a geração *per capita* de RU nos municípios goianos. A primeira análise foi para identificar se há diferença de geração *per capita* de RU entre aqueles municípios com recolha diferenciada de materiais recicláveis (CRDR) para os sem recolha diferenciada de recicláveis (SRDR). Esta avaliação é relevante pelo facto de que se estima que em Goiás, 31,9% dos RU de Goiás são materiais recicláveis (Colvero, Pfeiffer, & Carvalho, 2016), ou seja, aqueles municípios CRDR podem ter um desvio significativo dos quantitativos que chegam aos sistemas de deposição final de RU.

Os resultados apontaram que para as *Categorias 1 a 4* não se rejeita H_0 , ou seja, os quantitativos gerados pelos municípios, sejam estes com ou sem recolha diferenciada de recicláveis não são significativamente diferentes. Já para municípios com população superior a 50 000 habitantes (*Categorias 5 e 6*), deve-se rejeitar H_0 , o que significa que há diferença de geração *per capita* entre os municípios CRDR e SRDR. Destaca-se que, para a categoria 6, há apenas uma cidade SRDR, o que pode tornar superficial uma conclusão mais aprofundada. Os resultados estão apresentados na Tabela 4-12.

Para as *Categorias 1, 3 e 5* (que não seguem uma distribuição normal) foram feitos testes de *Wilcoxon-Mann-Whitney* (WMW), enquanto que para as *Categorias 2, 4 e 6* foi feita uma distribuição *t-S*.

Tabela 4-12: Análise estatística da geração *per capita* de RU enviados para a deposição final em municípios com e sem recolha diferenciada de materiais recicláveis, por faixa populacional.

Faixa populacional (habitantes)	Tamanho da amostra (<i>n</i>)		Valor- <i>p</i>	Teste aplicado	Resultado
	CRDR	SRDR			
Até 5 000	23	71	0,163	WMW	Não rejeita H_0 , ou seja, as medianas não são significativamente diferentes
5 001 a 10 000	22	29	0,746	<i>t-S</i>	Não rejeita H_0 , ou seja, as médias não são significativamente diferentes
10 001 a 20 000	9	27	0,841	WMW	Não rejeita H_0 , ou seja, as medianas não são significativamente diferentes
20 001 a 50 000	10	19	0,752	<i>t-S</i>	Não rejeita H_0 , ou seja, as médias não são significativamente diferentes
50 001 a 100 000	6	4	0,019	WMW	Rejeita H_0 , ou seja, as medianas são significativamente diferentes
Superior a 100 000	5	1	0,039	<i>t-S</i>	Rejeita H_0 , ou seja, as médias são significativamente diferentes
Legenda: CRDR: com recolha diferenciada de recicláveis; SRDR: sem recolha diferenciada de recicláveis. <i>t-S</i> : distribuição <i>t-Student</i> ; WMW: teste de Wilcoxon-Mann-Whitney					

4.3.6. Comparativo da geração *per capita* de RU entre os municípios turísticos ou não turísticos, por faixa populacional

Também foram realizados testes estatísticos para avaliar se há diferença de geração *per capita* entre os municípios turísticos (Tur) e os municípios não turísticos (N-Tur), conforme apresentado na Tabela 4-13.

Esta informação é relevante pelo facto de que em municípios turísticos a geração total de RU chega a aumentar em 70% do que é produzido pela população residente (IBAM, 2001). De acordo com Governo de Goiás (2014), 51 dos 246 municípios goianos são considerados turísticos. Entretanto, os resultados apontaram que para todas as categorias não se rejeita H_0 , ou seja, os quantitativos que são encaminhados à deposição final, sejam estes Tur ou N-Tur não são significativamente diferentes.

Assim como na análise estatística entre os municípios com e sem recolha diferenciada de recicláveis, para as *Categorias 1, 3 e 5* foram feitos testes de WMW, enquanto que para as *Categorias 2, 4 e 6* foi feita uma distribuição *t-Student*.

Tabela 4-13: Análise estatística entre os quantitativos *per capita* enviados para a deposição final em cidades turísticas e não turísticas, por faixa populacional.

Faixa populacional (habitantes)	Tamanho da amostra (n)		Valor-p	Teste aplicado	Resultado
	Turístico	Não Turístico			
Até 5 000 (Categoria 1)	5	95	0,232	WMW	Não rejeita H_0 , ou seja, as medianas não são significativamente diferentes
5 001 a 10 000 (Categoria 2)	11	44	0,968	t-S	Não rejeita H_0 , ou seja, as médias não são significativamente diferentes
10 001 a 20 000 (Categoria 3)	12	27	0,808	WMW	Não rejeita H_0 , ou seja, as medianas não são significativamente diferentes
20 001 a 50 000 (Categoria 4)	12	20	0,583	t-S	Não rejeita H_0 , ou seja, as médias não são significativamente diferentes
50 001 a 100 000 (Categoria 5)	4	7	0,345	WMW	Não rejeita H_0 , ou seja, as medianas não são significativamente diferentes
Acima de 100 000 (Categoria 6)	7	2	0,099	t-S	Não rejeita H_0 , ou seja, as médias não são significativamente diferentes

Legenda: t-S: distribuição t-Student; WMW: teste de Wilcoxon-Mann-Whitney.

4.4. Considerações Finais

De acordo com as análises estatísticas realizadas neste estudo, a geração *per capita* de RU nos municípios do Estado de Goiás varia de acordo com a faixa populacional. Para os dados estimados, que foram obtidos a partir de seis estudos em municípios goianos acerca da geração *per capita* de RU, quanto maior a população de um município, maior a geração *per capita* de RU. Já de acordo com os questionários respondidos pelos municípios goianos, aqueles municípios com menor porte populacional têm maior geração de resíduos por habitante.

Realizados os testes estatísticos, verificou-se que a geração *per capita* das Categorias 2, 4 e 6 seguem uma distribuição normal, ou seja, a hipótese nula não é rejeitada. Nas demais categorias, os valores não seguem uma distribuição normal. Com esses resultados, realizaram-se testes *t-Student* para situações em que a H_0 não foi rejeitada. Já para as situações em que a H_0 foi rejeitada, realizou-se o teste não paramétrico de Wilcoxon. Os resultados desses testes apontaram que, nas Categorias 1 a 4, os dados da geração *per capita* fornecidos nos questionários são significativamente diferentes das médias e medianas teóricas. Já nas Categorias 5 e 6, os testes identificaram que as médias e medianas fornecidas pelos municípios não são significativamente diferentes das teóricas.

Essa situação pode estar relacionada ao facto de 30% dos municípios com mais de 50 mil habitantes possuírem aterro licenciado, locais com balança para pesar os RU dispostos em seus sistemas. Já em relação aos municípios com menos de 50 mil habitantes,

apenas 4% deles possuem aterro, ou seja, a maioria não tem balança para pesar os RU depositados em seus sistemas de deposição final.

Outra questão importante analisada estatisticamente foi a relação entre a geração *per capita* de RU informada nos questionários, por categoria, e o número de habitantes. A partir de um DD, identificou-se uma linha de tendência apenas nas *Categorias 1, 2 e 3*. Nas *Categorias 4, 5 e 6*, não há linha de tendência.

Para os casos em que há uma linha de tendência da geração *per capita* de RU, fez-se uma correlação de *Pearson*. Os resultados apontaram que não há associação entre a geração *per capita* e o número de habitantes nas *Categorias 1 e 2*. Já na *Categoria 3*, identificou-se correspondência moderada entre a geração *per capita* e o quantitativo populacional. Ainda para as três categorias que seguem uma linha de tendência, realizou-se uma regressão linear para verificar a influência quantitativa da variável número de habitantes sobre a geração *per capita* de resíduos informada nos questionários. Os resultados mostraram que a relação entre os dados não é aceitável, ou seja, a geração *per capita* de RU não é explicada pelo número de habitantes.

Além disso, com a geração *per capita* de RU para os municípios goianos obtidas neste estudo, obteve-se que produção total de RU no Estado em 2013 foi de, no mínimo, 4 435,6 t.dia⁻¹ (quantitativo obtido a partir da geração *per capita* de RU estimada), sendo que a produção de RU obtida a partir dos questionários é 18% maior. Os responsáveis por cerca de 50% da produção de RU são os municípios com mais de 100 mil habitantes. Se esses quantitativos forem transpostos para as 10 regiões de planejamento do Estado, conclui-se que as regiões *Metropolitana de Goiânia* e do *Entorno do Distrito Federal*, que têm os maiores adensamentos populacionais, são as maiores produtoras de RU.

Em suma, este estudo possibilitou uma análise acerca de geração *per capita* de RU que os municípios goianos informaram via questionário. Observou-se que, quanto maior o número de habitantes, maior a proximidade entre os dados dos questionários e os parâmetros teóricos dos seis estudos utilizados como referência. Este resultado evidencia a importância do cuidado que se deve ter com a fiabilidade dos dados fornecidos pelos municípios de Goiás com população inferior a 50 mil habitantes, que eventualmente apresentam lacunas técnicas como a falta de infraestrutura para a gestão dos RU e pessoal capacitado para gerir tais resíduos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Brasil. O 1º autor, Diogo Appel Colvero, é investigador do CNPq, Processo n.º 207172/2014-5.

Os autores agradecem também à Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos – SECIMA/GO.

Referências Bibliográficas

- Abramovay, R., Speranza, J. S., & Petitgand, C. (2013). *Lixo Zero: gestão de resíduos sólidos para uma sociedade mais próspera*. São Paulo: Planeta sustentável: Instituto Ethos.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2015). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014*. São Paulo. Retrieved from <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>
- Andrade, R. M. de, & Ferreira, J. A. (2011). A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da globalização. *REDE – Revista Eletrônica do Prodepa*, 6(1), 7–22. Retrieved from <http://www.revistarede.ufc.br/revista/index.php/rede/article/viewArticle/118>
- Assamoi, B., & Lawryshyn, Y. (2012). The environmental comparison of landfilling vs. incineration of MSW accounting for waste diversion. *Waste Management*, 32(5), 1019–1030. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.023>
- Barboza, M. S. de M., Caixeta, C. K., Oliveira, C. A. de, & Colares, C. J. G. (2013). Gestão de resíduos sólidos do Lixão da cidade de Pirenópolis. *Revista Científica ANAP Brasil*, 6(7), 167–194. <http://doi.org/10.17271/19843240672013429>
- Brasil. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. (2010). Brasília, DF: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm
- Carvalho, E. H. de. (2003). Plano de gerenciamento de resíduos sólidos para o município de Goianésia/GO. Goiânia/GO: Universidade Federal de Goiás.
- Carvalho, P. L. de, & Ferreira, O. M. (2005). *Caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares do Município de Hidrolândia - GO*. Universidade Católica de Goiás.
- Colvero, D. A., Pfeiffer, S. C., & Carvalho, E. H. de. (2016). Materiais recicláveis provindos dos resíduos urbanos: caso de estudo para o estado de Goiás, Brasil. In P. J. Ramísio, G. A. Lopes, L. M. C. Pinto, F. Leite, & M. J. Rosa (Eds.), *A Engenharia Sanitária nas Cidades do Futuro: Livro de Comunicações do 17.º Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental/ENASB* (pp. 713–720). Lisboa.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics* (4a). London: SAGE.
- Governo de Goiás. (2014). Goiás turismo – Agência Estadual de Turismo. Retrieved November 17, 2015, from <http://www.goiasturismo.go.gov.br/destinos>

- Governo de Goiás. (2015). Conheça Goiás - Localização. Retrieved November 17, 2015, from <http://www.goias.gov.br/paginas/conhecagoias/localizacao>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2011). *Econometria básica* (5a). Porto Alegre: AMGH.
- IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal. (2001). *Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos* (15a). Rio de Janeiro.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). Goiás. Retrieved October 4, 2016, from <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?lang=&sigla=go>
- Marôco, J. (2014). *Análise estatística com o SPSS statistics* (6a). Pêro Pinheiro: Gráfica Manuel, Barbosa & Filhos.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2012). *Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PLANARES*. Brasília/DF. Retrieved from http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657
- Melo, D. A. (2005). *Diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos domésticos do município de Simolândia/GO* (Monograph). Universidade Federal de Goiás.
- NURSOL/UFG – Núcleo de Resíduos Sólidos e Líquidos da Universidade Federal de Goiás. (2014). *Plano de resíduos sólidos do Estado de Goiás. Elaboração do panorama geral dos resíduos sólidos – 1a parte (produto 3)*. Goiânia/GO.
- Pauletto, F. Z. (2010). A taxa pela coleta de “lixo”: um estudo entre o consumo de água e o consumo de energia elétrica com a produção de resíduos sólidos domiciliares (Monograph). Universidade Federal de Santa Catarina.
- SECIMA/GO – Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. (2015). *Nota técnica – aterros sanitários*. Goiânia/GO, Brasil.
- SEGPLAN – Secretaria de Gestão e Planejamento do Estado de Goiás. (2013). *Regiões de Planejamento do Estado de Goiás*. Goiânia/GO.
- Silva, T. M. (2014). *Teste t-Student. Teste igualdade de variâncias* (Monograph). Universidade Federal do Pará. Retrieved from http://www.ufpa.br/heliton/arquivos/aplicada/seminarios/M1_01_Testes_t_Tais.pdf

5. Os resíduos urbanos em Goiás: cenário atual e projeções para o futuro

Resumo: A produção de resíduos urbanos (RU) no mundo tem aumentado ano após ano. Esta situação pode ser verificada nos municípios do Brasil, que tem produzido mais RU e apresentam dificuldades na gestão destes resíduos. Um exemplo é o Estado de Goiás, que em 2015 teve 93,5% dos municípios a encaminhar seus RU para lixeiras e aterros não licenciados. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi realizar uma estimativa dos quantitativos de RU que serão gerados em cada um dos 246 municípios goianos até 2040. Para isso, realizou-se uma projeção populacional e da produção de RU entre 2015 a 2040, além da identificação dos atuais sistemas de gestão de RU neste Estado. Os resultados mostram que em 2040 Goiás terá uma população superior a 8,7 milhões de habitantes, um crescimento de 32% em comparação com 2015. Entretanto, 88% dos municípios continuarão a ter menos de 50 mil habitantes. Já os municípios de maior quantitativo populacional concentrar-se-ão, principalmente em duas das 10 regiões de planejamento do Estado: *Metropolitana de Goiânia* e *Entorno do Distrito Federal*. Quanto à produção de RU, estima-se para 2040 um aumento de 35% comparado com 2015. Ainda de acordo com as projeções para 2040, as regiões *Metropolitana de Goiânia*, *Entorno do Distrito Federal* e *Sudoeste Goiano* produzirão cerca de 70% dos RU goianos. Quanto às rotas tecnológicas dos RU produzidos, em 2015, a volta de 70% desses resíduos foram encaminhados para lixeiras ou aterros não licenciados e 8% sequer foram recolhidos, tendo como destino terrenos baldios ou cursos de água. Diante desse panorama, o que será da gestão dos RU em 2040 em Goiás se nada for feito?

Palavras-chave: Resíduos urbanos; projeções; gestão; Estado de Goiás; Brasil.

5.1. Introdução

A geração de resíduos urbanos (RU) no mundo tem vindo a atingir quantitativos cada vez mais alarmantes. No ano de 2012, um levantamento do Banco Mundial (World Bank, 2012) mostrou que foram produzidos em níveis globais cerca de 1,3 bilhão de toneladas de RU, o equivalente a $1,2 \text{ kg} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$. Se este perfil de crescimento se mantiver, deverá chegar a 2,2 bilhões de toneladas em 2025, o equivalente a $1,42 \text{ kg} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ (World Bank, 2012). Situação esta que é consequência do consumismo

da população mundial, que pode acarretar em graves problemas ambientais (Hannan, Al Mamun, Hussain, Basri, & Begum, 2015; Lavee & Nardiya, 2013).

Para além da quantidade gerada, outra questão que preocupa a sociedade é a má gestão dos RU. Apesar de haver sistemas integrados de tratamento desses resíduos, nomeadamente tratamento biológico, tratamento térmico, reciclagem e deposição em aterro (Kontos, Komilis, & Halvadakis, 2005), nos países em desenvolvimento há uma deficiência na prestação dos serviços em toda a cadeia de gestão de resíduos, da recolha à deposição final.

Nos países em desenvolvimento, os programas de prevenção da produção de resíduos são escassos, assim como o são os incentivos ao aumento da vida útil dos materiais. No Brasil, apesar da Lei n.º 12305 (também conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos) estabelecer como princípios a prevenção e o ciclo de vida dos produtos, a economia circular ainda é uma prática incipiente. Constata-se que praticamente não existem ações que visem uma diminuição na produção de resíduos, como as iniciativas que incentivem a mudança nos padrões de consumo das pessoas, ou informações acerca dos impactos do ciclo de vida e dos custos do uso dos recursos (Brasil, 2010; EC, 2011; Godecke, Naime, & Figueiredo, 2012). Esta lacuna de informações acaba por se traduzir numa gestão inadequada dos RU, e resulta em resíduos misturados, dispostos em aterros (licenciados e não licenciados) ou até mesmo em lixeiras (Abreu, Gandolfo, & Vilar, 2016; Figueiredo, 2012). Outro elemento complicador na gestão dos RU nos países periféricos é a escassez de recursos económicos, tecnologias adequadas e mão de obra qualificada para tratar dos resíduos sólidos (Andrade & Ferreira, 2011).

Um exemplo de gestão deficitária dos RU ocorre no Estado de Goiás, Brasil, em que somente 15 dos 246 municípios do Estado possuem aterros licenciados (SECIMA/GO, 2015). Nestes aterros são dispostos os RU de 16 municípios goianos, tendo em vista que Cidade Ocidental partilha seu sistema de deposição final de resíduos com Valparaíso de Goiás, município vizinho (Colvero, Gomes, & Pfeiffer, 2015).

Isso significa que há 230 municípios goianos a enviar seus RU para aterros não licenciados ou lixeiras. Sendo que os aterros não licenciados (ou aterros controlados) são locais de deposição final de RU em que existem alguns mecanismos para minimizar os impactos ambientais, como o confinamento dos resíduos em uma área cercada para evitar o acesso e circulação de animais e pessoas, cobertura e compactação dos RU e, em certos

casos, algum monitoramento (como o tratamento do lixiviado) que vise minimizar a poluição das águas superficiais, do lençol freático, do solo e do ar (Garcia et al., 2015; Oliveira & Gonçalves, 2015). Já as lixeiras são locais em que os RU são depositados inadequadamente sem qualquer tipo de controle (Marchi, 2015). Neste tipo de deposição final dos RU, que predomina nos municípios goianos, pode ocorrer a contaminação do solo e dos recursos hídricos, assim como colocar em risco a saúde humana (Barros, Dias, & Araújo, 2015; Malakahmad, Abualqumboz, Kutty, & Abunama, 2017).

A mudança deste panorama ineficiente de gestão dos RU de Goiás deve começar por ser alicerçado num conhecimento das quantidades e características físicas dos RU produzidos. Dessa forma, será possível estabelecer qual (quais) o(s) sistema(s) de gestão mais adequado(s) para os RU, e definir as tecnologias mais apropriadas para realizar o tratamento e valorização desses resíduos (Assamoi & Lawryshyn, 2012). Neste contexto, o objetivo deste estudo foi realizar uma estimativa dos quantitativos de RU produzidos por cada município goiano até o ano de 2040. Para o efeito, foi realizada uma estimativa de evolução populacional para estes municípios até 2040. Também foram identificados os sistemas de gestão dos RU existentes em Goiás.

5.2. Materiais e Métodos

Os métodos utilizados para estimar a população e os RU produzidos em cada município de Goiás, são descritos nas seções seguintes.

5.2.1. Área de estudo

Goiás é um Estado localizado na região Centro-Oeste do Brasil. Em 2015 apresentava uma população estimada em 6 610 681 habitantes distribuídos em uma extensão territorial de 340 111 km², o que corresponde a uma densidade populacional de 19,4 habitantes·km⁻². Faz fronteira ao norte com o Estado de Tocantins, a leste com os Estados da Bahia e de Minas Gerais, a oeste com o Estado de Mato Grosso e ao sul com os Estados de Minas Gerais e de Mato Grosso do Sul. O Estado encontra-se dividido em 10 regiões de planejamento, o que constitui uma delimitação estratégica que visa estabelecer os investimentos do governo estadual conforme as necessidades socioeconômicas de cada região (IBGE, 2016b, 2016d; IMB, 2014).

5.2.2. Métodos de projeção populacional

Para estimar os quantitativos de RU que serão gerados em um determinado ano futuro, faz necessário realizar uma projeção populacional. A estimativa populacional pode ser determinada através da utilização de modelos matemáticos ou através de métodos estatísticos de análise de regressão (linear ou não-linear). Aplicam-se os métodos de regressão quando se tem uma abundante série histórica de dados, enquanto os modelos matemáticos são utilizados quando a informação é escassa, como por exemplo, a população de censos demográficos em três ou quatro específicos anos (Benetti, 2007).

Como os dados populacionais oficiais de cada um dos 246 municípios goianos são os que constam nos censos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (DATASUS, 2016a, 2016b) para os anos de 1980, 1991, 2000 e 2010, optou-se por aplicar métodos matemáticos, os quais serão descritos na sequência deste estudo. Essas estimativas foram necessárias porque o IBGE possui as projeções populacionais para todo o Estado, mas não apresenta uma estimativa populacional futura para cada município.

Sendo que a projeção populacional dos municípios goianos foi feita para o ano de 2040. Estabeleceu-se este ano como horizonte de projeto porque de acordo com a Lei n.º 12305 os planos de gestão de resíduos sólidos devem ter um horizonte temporal de 20 anos (Brasil, 2010). Tendo por base o pressuposto de que a partir de 2020 o Estado de Goiás possa ter adequados sistemas de gestão de RU a iniciar suas operações, a população do final da vida útil desses sistemas será a estimada para 2040.

5.2.3. Método da projeção aritmética

Segundo Benetti (2007), o método da projeção aritmética é aplicada em situações em que o crescimento populacional ocorre a uma taxa constante ao longo do tempo, tendo como referência a população na data de início e sem acúmulo periódico. Os cálculos para este método são os apresentados na Equação 5-1 (Qasim, 1999; Marques & Sousa, 2008).

$$P_{ta} = P_0 \cdot K_a \cdot (t - t_0) \quad (\text{Equação 5-1})$$

Em que:

P_{ta} – População estimada, pelo método aritmético, no ano t (habitantes); P_0 – população no ano do censo t_0 (habitantes); K_a – coeficiente de crescimento aritmético; t_0 – data do primeiro censo disponível (ano) e; t – data na qual se pretende estimar a população (ano).

A taxa de crescimento da população em função do tempo pode ser calculada por:

$\frac{dP}{dt} = K_a$. Entretanto, o coeficiente K_a foi calculado conforme a Equação 5-2.

$$K_a = \frac{P_n - P_0}{t_n - t_0} \quad (\text{Equação 5-2})$$

Em que:

P_n – População no ano do censo t_n (habitantes); P_0 – população no ano do censo t_0 (habitantes); t_n – data do último censo disponível (ano) e; t_0 – data do primeiro censo disponível (ano).

5.2.4. Método da projeção geométrica ou exponencial

Uma metodologia bastante usada na estimativa da população em um tempo t qualquer é através da taxa média de crescimento (r) da população entre dois períodos para os quais se conhece a população (Rios-Neto & Riani, 2004). Na projeção geométrica o crescimento populacional é função da população existente a cada momento (Benetti, 2007). Pode-se calcular a taxa de crescimento geométrica ou exponencial a partir das Equações 5-3 e 5-4, respetivamente (Qasim, 1999; Marques & Sousa, 2008).

$$r_g = \left(\sqrt[\Delta t]{\frac{P_n}{P_0}} \right) - 1 \quad (\text{Equação 5-3})$$

$$r_e = \frac{P_n}{P_0} \cdot \ln \left(\frac{P_n}{P_0} \right) \quad (\text{Equação 5-4})$$

Em que:

r_g – taxa de crescimento geométrico; r_e – taxa de crescimento exponencial; Δt – tempo decorrido entre as duas datas de referência dos censos – t_n e t_0 (anos); P_0 – população no ano do censo t_0 (habitantes) e; P_n – população no ano do censo t_n (habitantes).

Com os valores da taxa de crescimento, é possível calcular a estimativa populacional geométrica e exponencial, em qualquer ano t , utilizando-se, respetivamente, as Equações 5-5 e 5-6.

$$P_{t_g} = P_0 \cdot (1 + r_g)^{(t-t_0)} \quad (\text{Equação 5-5})$$

$$P_{t_e} = P_0 \cdot e^{r_e \cdot (t-t_0)} \quad (\text{Equação 5-6})$$

Em que:

P_{t_g} – população estimada, pelo método geométrico, na data t (habitantes);
 P_{t_e} – população estimada, pelo método exponencial, na data t (habitantes); r_g – taxa de crescimento geométrico; r_e – taxa de crescimento exponencial; t_0 – data do primeiro censo disponível (ano); t – data na qual se pretende estimar a população (ano).

5.2.5. Método da taxa decrescente de crescimento

No método da taxa decrescente de crescimento usa-se a premissa de que, à medida que a população de um município cresce, a taxa de crescimento da população vai diminuindo. Por outras palavras, a população tende assintoticamente para um valor de saturação (Benetti, 2007). O modelo de cálculo da projeção populacional utilizando este método é traduzido na Equação 5-7 (Qasim, 1999; Marques & Sousa, 2008).

$$P_{t_d} = P_0 \cdot (P_s - P_0) \left[1 - e^{-K_d \cdot (t-t_0)} \right] \quad (\text{Equação 5-7})$$

Em que:

P_{t_d} – População estimada, pelo método da taxa decrescente, no ano t (habitantes);
 P_0 – População no ano do censo t_0 (habitantes); P_s – População de saturação (habitantes);
 K_d – coeficiente de taxa decrescente de crescimento; t_0 – data do primeiro censo disponível (ano); t – data na qual se pretende estimar a população (ano).

A taxa de crescimento da população em função do tempo é dada por:

$\frac{dP}{dt} = K_d \cdot (P_s - P)$. A população de saturação e o coeficiente K_d foram calculados conforme as Equações 5-8 e 5-9.

$$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2} \quad (\text{Equação 5-8})$$

$$K_d = \frac{-\ln[P_s - P_2]/(P_s + P_1)}{t_2 - t_1} \quad (\text{Equação 5-9})$$

Em que:

P_0 – População no ano do censo t_0 (habitantes); P_1 – População no ano do censo t_1 (habitantes); P_2 – População no ano do censo t_2 (habitantes); t_0 – data do primeiro censo disponível (ano); t_1 – data do censo no período 1 (ano); t_2 – data do censo no período 2 (ano). t_0 , t_1 e t_2 são equidistantes entre si.

Ressalta-se que existem outros métodos de projeção populacional como o do crescimento logístico e o da regressão multiplicativa. Contudo, os três métodos descritos nos itens 5.2.3, 5.2.4 e 5.2.5 são os que melhor se adequaram à tendência de crescimento populacional dos municípios goianos.

5.2.6. Estimativas dos quantitativos de resíduos urbanos gerados em Goiás

Para fazer a projeção do quantitativo de RU que será gerado em Goiás em 2040, foram usados dois conjuntos de informações: i) a estimativa populacional para cada município goiano (em número de habitantes), obtida a partir das metodologias descritas nos itens 5.2.3, 5.2.4 e 5.2.5, e ii) a geração *per capita* de RU para cada um dos municípios goianos (em $\text{kg} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$), de acordo com informação de Colvero, Carvalho, Pfeiffer, & Gomes (2017). Sendo que a geração de RU *per capita* para cada município de Goiás definida por Colvero et al., (2017) baseou-se em dois conjuntos de informações: i) com base em dados primários oriundos de um questionário encaminhado pela SECIMA/GO aos municípios goianos em 2013 (questionário que teve retorno de 89% dos municípios de Goiás) e; ii) dados obtidos através de revisão de literatura em estudos em municípios goianos com diferentes números de habitantes. Estas diferentes gerações *per capita* de RU, dispostas por faixas populacionais (Tabela 5-1), foram as utilizadas neste estudo para realizar as projeções de RU em Goiás.

Assim, com base nos dois conjuntos de informações da geração *per capita* de RU, definiram-se duas projeções da produção de RU em cada município de Goiás:

Projeção 1: estimativa populacional para cada município goiano (em número de habitantes) multiplicada pelos valores de geração de RU *per capita* resultante do questionário enviado aos municípios goianos;

Projeção 2: estimativa populacional para cada município goiano (em número de habitantes), multiplicada pelos valores de geração de RU *per capita* obtidos na revisão de literatura.

Tabela 5-1: Estimativa da geração *per capita* de RU, por faixa populacional, para Goiás.

Faixa populacional para os municípios de Goiás (habitantes)	Mediana da geração <i>per capita</i> de RU – estimativas	Mediana da geração <i>per capita</i> de RU – estimativas
	<i>Projeção 1</i> (kg·hab ⁻¹ ·dia ⁻¹)	<i>Projeção 2</i> (kg·hab ⁻¹ ·dia ⁻¹)
Até 5 000	0,90	0,46
5 001 a 10 000	0,87	0,50
10 001 a 20 000	0,95	0,54
20 001 a 50 000	0,86	0,60
50 001 a 100 000	0,77	0,69
Superior a 100 000	0,85	0,77

Fonte: Adaptado de Colvero et al. (2017).

Como resultado da aplicação desta metodologia para os 246 municípios do Estado, obtiveram-se duas estimativas de produção de RU para cada município. No caso da *Projeção 1*, considerou-se constante a geração *per capita* de RU (Colvero et al., 2017), isto é, a produção de RU irá variar ao longo do tempo somente de acordo com a variação da população (ARCADIS & EUNOMIA, 2009; BNDES, 2013a). Como em Goiás existem municípios que terão um crescimento e outros uma diminuição populacional, a produção de RU será variável de acordo com a população ao longo dos anos.

Já no caso do *Projeção 2*, a estimativa de produção de RU depende de dois fatores: i) crescimento (ou decréscimo) populacional, e ii) transição de categoria populacional de cada município, que irá alterar o valor *per capita* da produção de RU (conforme Tabela 5-1).

Esta metodologia foi aplicada para se obter as seguintes estimativas de produção de RU dos municípios de Goiás:

- produção de RU nas regiões de planejamento de Goiás em 2015, de acordo com a *Projeção 1*;
- produção de RU nas regiões de planejamento de Goiás em 2015, de acordo com a *Projeção 2*;
- produção de RU nas regiões de planejamento de Goiás em 2040, de acordo com a *Projeção 1*;

- produção de RU nas regiões de planejamento de Goiás em 2040, de acordo com a *Projeção 2*.

5.2.7. Sistemas de gestão dos RU no Estado de Goiás e seus balanços mássicos

Para calcular os quantitativos de RU destinados para cada tecnologia de tratamento e deposição final no Estado de Goiás foi necessário identificar qual a fração de população dos municípios goianos é servida por sistemas de recolha de RU. Para o efeito, foram utilizados dados de levantamento realizado por IMB (2014).

Além disso, com base nos sistemas de gestão existentes para esses resíduos (informação obtida através dos questionários respondidos pelos municípios goianos em 2013 e a partir de dados de BNDES (2013b) e SECIMA/GO (2015)) estabeleceu-se o cenário atual da gestão dos RU em Goiás: recolha diferenciada (RD) de materiais recicláveis e recolha indiferenciada de RU, central triagem (CT) de materiais recicláveis, compostagem de biorresíduos (para um município), aterros licenciados pela SECIMA/GO, aterros não licenciados pela SECIMA/GO, e lixeiras.

Para calcular os quantitativos de RU que são enviados para as CT, foram usados os dados de BNDES (2012b), que apontou que a RD de materiais recicláveis tem um alcance de 1 a 5% da massa total de RU produzidos pelos municípios goianos. Desta forma, optou-se por considerar que o alcance da RD nos municípios goianos que fazem este tipo de recolha é, em média, de 3%. Porém, 30% dos resíduos que chegam às CT acabam por ser rejeitados e enviados para os lixeiras e aterros do Estado de Goiás, ou seja, considerou-se uma eficiência de 70% para as CT (NURSOL/UFG, 2014).

Para estimar os quantitativos que são enviados para a única unidade de compostagem de Goiás, assim como os refugos desse sistema, foi usado dado disponível em BNDES (2012a). Os demais RU gerados em Goiás têm outros destinos, como os aterros licenciados, os aterros não licenciados ou as lixeiras. Existe também uma fração de RU que não é recolhida e que é despejada em vias públicas e terrenos baldios. Estes destinos foram identificados de acordo com IMB (2014).

Desse modo, os RU de Goiás foram analisados através de sua cadeia produtiva, considerando-se desde sua geração, recolha (diferenciada ou indiferenciada), transporte, as formas de tratamento e, para fechar o ciclo, a eliminação desses resíduos (Pires, Martinho, & Chang, 2011). Esta sequência de operações é designada no Brasil como rota tecnológica dos RU de um determinado local (BNDES, 2013b). Para analisar o fluxo dos RU em Goiás

utilizou-se a ferramenta de *software* STAN[®] (versão 2.5). A partir deste *software* conseguiu-se calcular o balanço mássico dos RU gerados no Estado.

5.3. Resultados e Discussão

5.3.1. Estimativa populacional para o Estado de Goiás

Até o ano de 1988, o Estado de Goiás possuía uma área de 617 831 km² (IBGE, 2016b, 2016c). Entretanto, com a promulgação da última Constituição Brasileira, em 5 de outubro de 1988, Goiás foi dividido em dois Estados (Brasil, 1988): i) no antigo norte goiano foi criado o Estado do Tocantins, que ficou com 78 municípios goianos e uma área de 277 720 km² (IBGE, 2016c; Rodrigues & Santos, 2015), ii) nos demais 340 111 km², que contemplavam 209 municípios na época, continuaram a pertencer a Goiás (Pereira, Brito, & Capel, 2009). Com o passar dos anos outras localidades foram se emancipando, até chegar aos atuais 246 municípios no Estado (IBGE, 2016a).

Apesar da divisão do Estado, em 30 anos (de 1980 a 2010) o número de habitantes de Goiás aumentou 92%, conforme apresentado na Tabela 5-2.

Tabela 5-2: Quantitativos populacionais do IBGE para o Estado de Goiás de 1980 a 2010.

População total de Goiás, de acordo com os censos demográficos (habitantes)				
Ano	1980	1991	2000	2010
Habitantes	3 121 125	4 018 903	5 003 228	6 003 788

Fonte: Adaptado de DATASUS (2016a, 2016b).

Para os cálculos das estimativas populacionais dos municípios do Estado, neste trabalho foram considerados somente os habitantes dos municípios que continuaram a pertencer a Goiás após a criação do Estado de Tocantins. Dessa forma, com base nos modelos de estimativa populacional apresentados neste estudo (itens 5.2.3, 5.2.4 e 5.2.5), realizaram-se os cálculos para estimar a população de Goiás de 2015 a 2040. Dos 246 municípios goianos, em 173 foram aplicados o método da taxa decrescente de crescimento, em 69 a metodologia da projeção geométrica e em outros quatro o método da projeção aritmética. A escolha do método de projeção populacional, teve por base o melhor ajuste na descrição da evolução populacional para cada município.

As estimativas populacionais obtidas neste estudo foram comparadas com o quantitativo populacional projetado pelo IBGE (2013) para o Estado de Goiás. O somatório do quantitativo populacional estimado a partir de cada município goiano está

próximo aos valores projetados pelo IBGE para o Estado. Por exemplo, para o ano de 2030, há uma diferença de população de apenas 0,2% entre o estimado pelo IBGE e o projetado neste estudo; isto é, o IBGE estima para 2030 uma população de 7 712 596 habitantes, enquanto que neste estudo a estimativa é 7 727 348 habitantes.

Apesar das estimativas indicarem maiores adensamentos populacionais no horizonte de 2040 (Figura 5-1), o Estado permanecerá tendo a maior parte dos seus municípios (87,8%) enquadrados como de pequeno porte, isto é, com população inferior a 50 mil habitantes (Araújo & Nunes, 2013).

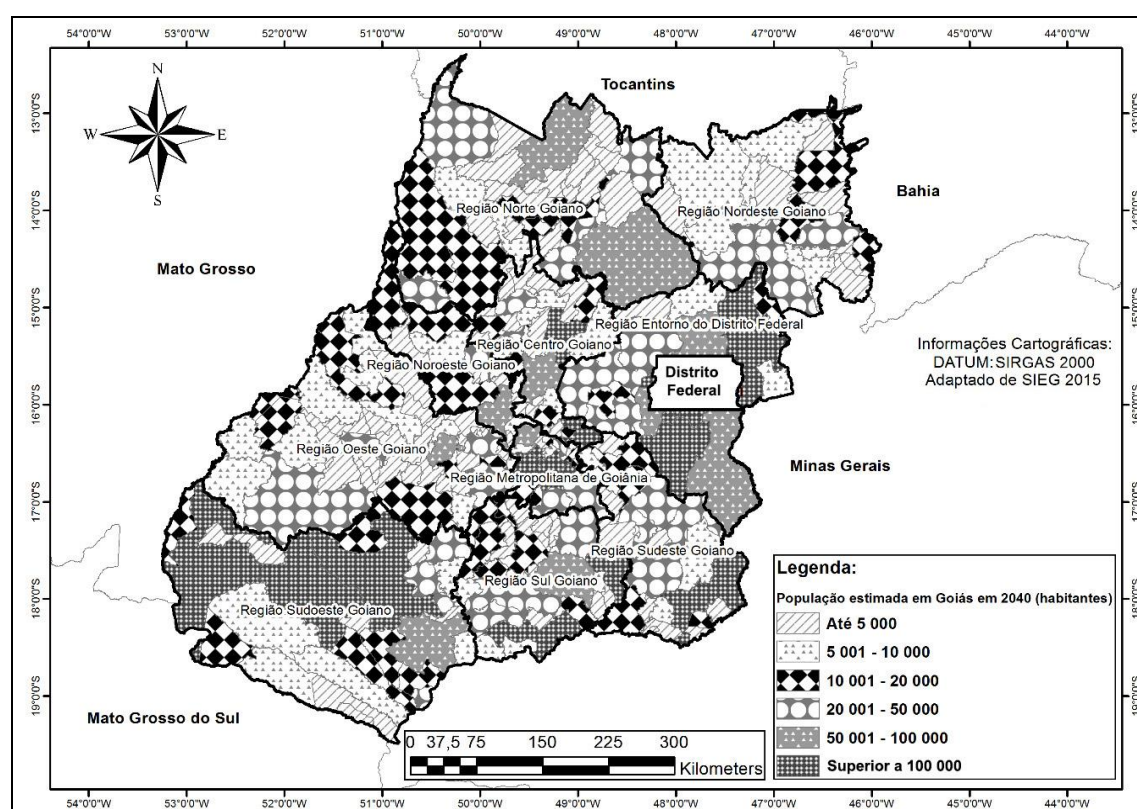


Figura 5-1: Quantitativos populacionais nos municípios goianos em 2040.

As regiões com maior incidência de municípios com população superior a 100 000 habitantes são o *Entorno do Distrito Federal* (EDF ou *Entorno do DF*) e *Metropolitana de Goiânia* (MGyn), com 6 e 5 municípios, respetivamente. De acordo com Souza (2011), esse cenário ocorre pelo facto de o Estado ter um perfil produtivo que visa as monoculturas, o que acarreta na concentração de terras e rendas e, consequentemente, gera a desigualdade económica. Situação que acaba por estimular os aglomerados urbanos, como ocorre nas regiões MGyn e EDF. SEGPLAN & SEPIN (2011), complementam ao

relatar que no *EDF* há um grande deslocamento populacional proveniente de Brasília, capital do Brasil, em direção aos municípios de Goiás que se situam no *EDF*, decorrente do elevado custo de vida deste município.

Além disso, o quantitativo populacional em cada região de planejamento também pode ser explicado pelo número de empregos existentes para cada um dos cinco setores de atividade (agropecuária, comércio, construção civil, indústria e serviços). Segundo dados do IMB (2014), somando todos os setores, o Estado dispunha de 1 439 341 empregos em 2012, sendo que somente a região *MGyn* concentra mais de 780 000 postos de trabalho, o que corresponde a 54% do total de empregos no Estado.

De acordo com IBGE (2016a), juntas, as regiões *MGyn* e *EDF* possuem cerca de 55% da população goiana, sendo que *MGyn* possui a menor área territorial dentre as regiões de planejamento, e tem uma densidade populacional 17 vezes maior que a densidade média do Estado. Em situação oposta está o *Nordeste Goiano*, região com 20 municípios e uma população de 184 472 habitantes. Pessoas que ocupam uma área de 40 181 km², que corresponde a 12% da área de Goiás e uma densidade populacional de 4,59 hab·km⁻², quatro vezes menor que a densidade média do Estado (IBGE, 2015, 2016d; IMB, 2014).

As estimativas populacionais apontam que em 2040 as regiões *MGyn* e *EDF* continuarão a ter os maiores aglomerados populacionais, sendo que o *Sudoeste Goiano*, que por essa data terá mais de 1,1 milhão de habitantes, também será uma região de planejamento com municípios com maiores adensamentos populacionais. Juntas, em 2040, estas três regiões terão 66% da população goiana. O Estado passará dos 6,6 milhões de habitantes de 2015 para 8,7 milhões de habitantes em 2040 (Tabela 5-3).

Tabela 5-3: Quadro demográfico das 10 regiões de planejamento do Estado de Goiás.

Região	N.º de municípios (IMB, 2014)	Área (km ²) – IBGE, 2015	População 2015 (IBGE, 2016d) – habitantes	População estimada para Goiás para 2040 (habitantes)	Densidade populacional (hab·km ⁻²)
<i>Norte Goiano</i>	26	60 946	320 433	382 508	5,3
<i>Nordeste Goiano</i>	20	40 181	184 472	236 901	4,6
<i>Noroeste Goiano</i>	13	14 872	147 698	179 567	9,9
<i>Centro Goiano</i>	31	18 536	675 776	837 589	36,5
<i>Entorno do DF</i>	19	30 982	1 179 669	1 416 802	38,1
<i>Oeste Goiano</i>	43	55 535	352 618	435 547	6,4
<i>MGyn</i>	20	7 315	2 421 831	3 185 744	331,1
<i>Sudeste Goiano</i>	22	25 425	271 226	389 454	10,7
<i>Sudoeste Goiano</i>	26	61 499	622 057	1 109 931	10,1
<i>Sul Goiano</i>	26	24 820	434 901	526 244	17,5
Estado de Goiás	246	340 111	6 610 681	8 700 287	19,4

5.3.2. Estimativa da produção de resíduos urbanos no Estado de Goiás

Os resultados obtidos apontam um cenário de crescimento da produção de RU no Estado de Goiás até 2040. De acordo com as estimativas baseadas na *Projeção 1*, a produção de RU em Goiás aumentará de 5 828 t·dia⁻¹ em 2015 para 7 764 t·dia⁻¹ em 2040, o que representa um aumento de 33%. Para a *Projeção 2*, neste mesmo período, o aumento previsto para a geração de RU será de 4 967 t·dia⁻¹ para 6 849 t·dia⁻¹, um crescimento de 38%. Verifica-se que os valores projetados para a produção de RU a partir da *Projeção 1* são cerca de 900 t·dia⁻¹ superiores aos valores estimados para a *Projeção 2*.

Para as *Projeções 1* e *2* as estimativas apontam as regiões *MGyn* e *EDF* como aquelas com maior geração RU em Goiás. A partir dos dados da *Projeção 1*, em 2015 estas regiões geraram, em conjunto, 3 056 t·dia⁻¹ de RU, o equivalente a 52,4% do total de RU produzidos. No caso da *Projeção 2*, em 2015 estas duas regiões geraram, juntas, 3 073 t·dia⁻¹ de RU, um quantitativo ligeiramente superior ao previsto de acordo com a *Projeção 1*, e que representa 61,9% do total de RU produzido em Goiás.

Além disso, em ambas as *Projeções 1* e *2*, as estimativas apontam para um crescimento no quantitativo de RU gerados na região do *Sudoeste Goiano*. Com base nas estimativas a partir da *Projeção 1*, em 2040 esta região assumirá a posição de segunda maior geradora de RU em Goiás, colocando-se acima do *EDF* em termos de geração de RU (Figura 5-2a). Ainda de acordo com a *Projeção 1*, em 2040, juntas, as regiões *MGyn*, *EDF* e *Sudoeste Goiano* serão responsáveis pela produção de cerca de 4 980 t·dia⁻¹ de RU, o que significa 64,1% do total de RU que o Estado gerará. De acordo com as estimativas da *Projeção 2*, estas três regiões produzirão cerca de 4 913 t·dia⁻¹, o que representará 71,7% dos RU gerado em Goiás (Figura 5-2b).

Em situação oposta estão as regiões *Noroeste Goiano* e *Nordeste Goiano* que, de acordo com as estimativas das *Projeções 1* e *2*, geram as menores quantidades de RU conforme apresentado nas Figuras 5-2a e 5-2b. Conforme as estimativas da *Projeção 1*, em 2015, estas duas regiões (juntas) produziram 287 t·dia⁻¹ de RU, o equivalente a 4,9% do total de RU do Estado. Para as estimativas da *Projeção 2*, estas regiões produziram 182 t·dia⁻¹, ou seja, 3,7% do total de RU do Estado. Embora se preveja um aumento na produção de RU nestas duas regiões com o passar dos anos, as estimativas das *Projeções 1* e *2* para 2040 apontam que, em percentagem, estas duas regiões (juntas) terão uma produção ainda menor face ao total de RU que será produzido no Estado, com 4,8% e 3,5%, respetivamente.

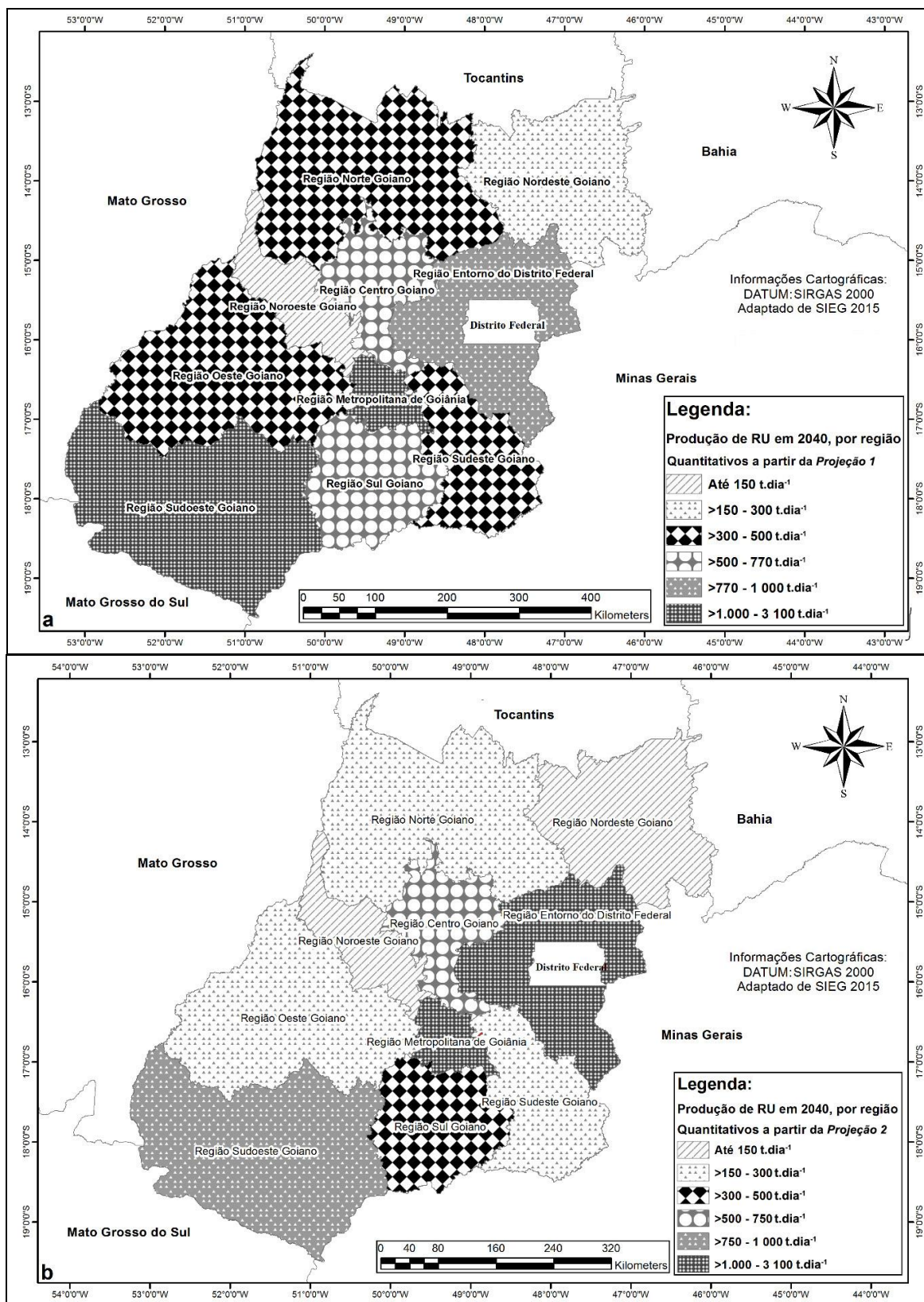


Figura 5-2: Estimativas da produção de resíduos urbanos (t.dia⁻¹) com base nas *Projeções 1* (a) e 2 (b), por região de planejamento do Estado de Goiás, em 2040.

5.3.3. Balanço mássico da rota tecnológica dos resíduos urbanos de Goiás

A recolha dos RU não abrange toda a população goiana (Tabela 5-4). De acordo com IMB (2014), 92% dos RU gerados em 2013 foram recolhidos, sendo que os municípios da região *MGyn* recolheram 99% dos RU gerados. No entanto, verifica-se a existência de regiões com baixo índice de recolha, como é o caso do *Noroeste Goiano* e *Norte Goiano*, que recolheram cerca de 80% dos RU gerados. A situação menos satisfatória ocorre no *Nordeste Goiano*, onde recolheram-se na ordem dos 66% de RU gerados.

As principais rotas de gestão dos RU do Estado estão relacionadas com os fluxos de recolha indiferenciada de RU e respetivo envio para lixeiras e aterros não licenciados pela SECIMA/GO. De facto, as lixeiras e os aterros não licenciados são o destino de cerca de 70% dos RU produzidos em Goiás. O restante dos RU vai para os 15 aterros licenciados pela SECIMA/GO (2015), que recebem de 20 a 23% dos RU gerados no Estado. Há também entre 7% e 9% de RU que não são recolhidos, tendo como destino terrenos baldios, vias públicas, rios (IMB, 2014). Na realidade, estima-se que menos de 2% dos RU recolhidos de forma diferenciada e enviados para unidades de triagem acabam por ser encaminhados para reciclagem. Quanto ao tratamento dos biorresíduos existentes nos RU, há somente uma central de compostagem no Estado (BNDES, 2012a), que se encontra instalada no município de Chapadão do Céu. O composto produzido nesta unidade deste município equivale a menos de 0,1% da massa total de RU produzidos no Estado.

Tabela 5-4: Panorama da recolha de RU, por região de planeamento de Goiás no ano de 2015.

Regiões de planeamento	RU produzidos		RU recolhidos			
	<i>Projeção 1</i> t·dia ⁻¹	<i>Projeção 2</i> t·dia ⁻¹	<i>Projeção 1</i>		<i>Projeção 2</i>	
			t·dia ⁻¹	% recolhido	t·dia ⁻¹	% recolhido
<i>Norte Goiano</i>	319	184	242	75,9	147	79,9
<i>Nordeste Goiano</i>	173	99	112	64,7	67	67,1
<i>Noroeste Goiano</i>	114	83	90	79,3	66	78,8
<i>Centro Goiano</i>	606	488	550	90,9	455	93,3
<i>Entorno do DF</i>	793	843	706	89,0	760	90,2
<i>Oeste Goiano</i>	324	190	261	80,4	154	81,0
<i>MGyn</i>	2 262	2 230	2 229	98,5	2 208	99,0
<i>Sudeste Goiano</i>	268	164	234	87,2	143	87,1
<i>Sudoeste Goiano</i>	562	416	508	90,4	378	91,0
<i>Sul Goiano</i>	407	270	373	91,6	248	91,9
Total	5 828	4 967	5 305	91,0	4 626	93,1

Além disso, sistemas de tratamento térmico de RU, como é o caso da incineração (Kontos et al., 2005) não estão contemplados dentre as tecnologias de tratamento destes resíduos no Estado de Goiás. Observa-se ainda que, mesmo nos casos em que os RU são destinados para os aterros licenciados – isto é, uma das opções menos sustentáveis para a gestão de RU (Cherubini, Bargigli, & Ulgiati, 2009), não existe qualquer valorização energética do biogás produzido.

Salienta-se ainda que, as mais 340 t·dia⁻¹ de RU que não são recolhidos, assim como as 3 429 t·dia⁻¹ de RU que são destinados para os aterros não licenciados e lixeiras nos municípios goianos (quantitativos mínimos, pois considerou-se a *Projeção 2*) podem estar contaminando o solo, os corpos hídricos superficiais e subterrâneos, assim como podem provocar doenças aos animais e as pessoas que estiverem em contacto com estes resíduos (Barros et al., 2015; Marchi, 2015). De acordo com estudo de Malakahmad et al. (2017), uma tonelada de RU depositado em um aterro produz 0,188 m³ de lixiviado, ou seja, centenas de metros cúbicos deste líquido podem estar percolando e contaminando diariamente o solo e as águas dos municípios de Goiás. Para além, há o gás de aterro (LFG), proveniente da decomposição biológica aeróbia e anaeróbia dos resíduos orgânicos existentes nos RU (Malakahmad et al., 2017). Este LFG é composto por 45-60% de CH₄ e de 40-60% de CO₂ (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1993), que são dois dos principais gases responsáveis pelo efeito de estufa (Piñas, Venturini, Lora, Oliveira, & Roalcaba, 2016).

Verifica-se que Goiás possui uma lacuna no que diz respeito a uma avaliação que englobe não somente os aspetos financeiros, mas também os aspetos técnicos, ambientais, legislativos e sociais das políticas de gestão de RU (Guerrero, Maas, & Hogland, 2013). Os tomadores de decisão de Goiás devem definir sistemas de gestão para os RU de acordo com as especificidades da região e que passe, para além de aspetos tecnológicos e financeiros, por um estreito envolvimento das populações (Feo & Malvano, 2009). De qualquer modo, a análise realizada neste estudo, em que são apontadas as estimativas futuras de produção de RU nas regiões de planeamento de Goiás poderão servir para auxiliar os municípios a definir uma estratégia para a gestão dos RU.

O balanço mássico, em t·ano⁻¹, dos RU produzidos no Estado de Goiás em 2015, juntamente com o modelo de gestão adotado para estes resíduos é apresentado nas Figuras 5-3 e 5-4, para a *Projeção 1* e para a *Projeção 2*, respetivamente.

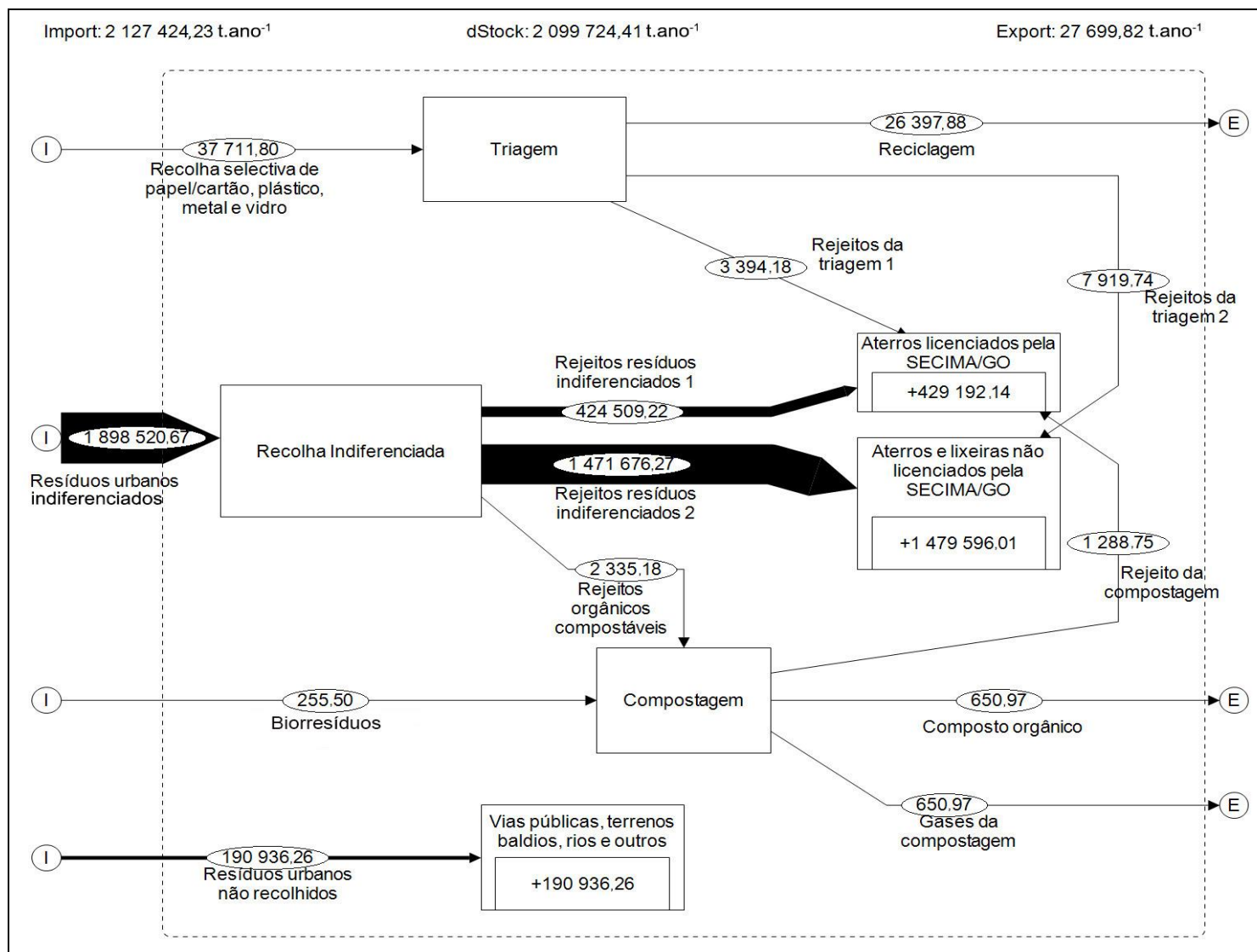


Figura 5-3: Rota tecnológica dos RU produzidos (em t.ano⁻¹) no Estado de Goiás em 2015, de acordo com as estimativas para a *Projeção 1*.

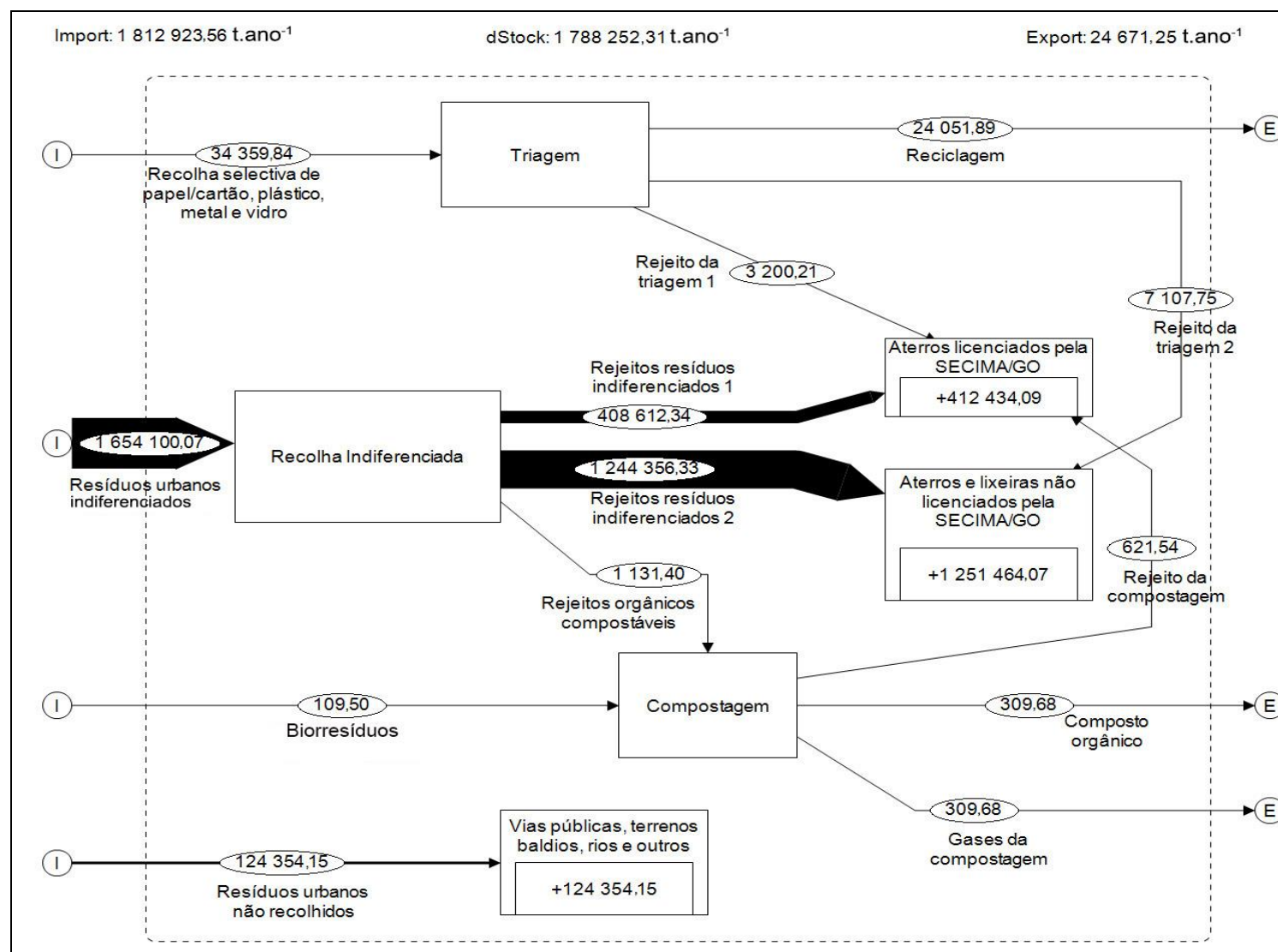


Figura 5-4: Rota tecnológica dos RU produzidos (em t.ano⁻¹) no Estado de Goiás em 2015, de acordo com as estimativas para a *Projeção 2*.

5.4. Considerações Finais

De acordo com as estimativas populacionais para os 246 municípios goianos, o Estado passará de 6,6 milhões de habitantes em 2015 para uma população superior a 8,7 milhões em 2040. Sendo que aumentará dos atuais 12 para 19 municípios acima de 100 mil habitantes em 2040. População que, na sua maior parte (55%), está situada nas regiões *MGyn* e *EDF*. Sendo que na *MGyn* há uma densidade populacional de 331,1 hab·km⁻², 17 vezes acima da densidade média goiana.

Com relação às estimativas da produção de RU, até 2040 haverá um aumento entre 33% e 38% na geração destes resíduos em Goiás. Das mais de 6 500 t·dia⁻¹ (podendo chegar a 7 800 t·dia⁻¹) de RU que serão produzidos nesse ano, entre 64% e 72% serão gerados em três das 10 regiões de planejamento: *MGyn*, *Sudoeste Goiano* e *EDF*. Em situação oposta estão o *Noroeste Goiano* e o *Nordeste Goiano*, que serão responsáveis em 2040 por uma produção entre 3,8% a 4,5% dos RU de Goiás.

Entretanto, o maior problema não é o quantitativo de RU que os municípios goianos produzem (e produzirão), mas sim a falta de sistemas para fazer uma adequada gestão destes resíduos. Poucos municípios de Goiás possuem sistemas de tratamento e deposição final de RU. São somente 15 aterros licenciados pela SECIMA/GO, um baixo alcance da triagem de materiais recicláveis e somente um município com compostagem de biorresíduos.

Esta situação evidencia a urgente necessidade da criação de novos sistemas de tratamento e deposição final de RU, tendo em vista que entre 76% a 79% do total de RU produzido em Goiás em 2015 foram descartados inadequadamente. Cenário que se agravará ano após ano, pois mais resíduos serão produzidos.

Diante deste alarmante panorama da crescente produção de RU e da inexistência de um sistema adequado para a gestão destes resíduos, Goiás precisa criar uma estratégia para que haja alternativas para tratar e dispor de maneira ambientalmente adequada seus RU.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Brasil. O 1º autor, Diogo Appel Colvero, é investigador do CNPq, Processo n.º 207172/2014-5.

Referências Bibliográficas

- Abreu, A. E. S., Gandolfo, O. C. B., & Vilar, O. M. (2016). Characterizing a Brazilian sanitary landfill using geophysical seismic techniques. *Waste Management*, 53, 116–127. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.048>
- Andrade, R. M. de, & Ferreira, J. A. (2011). A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da globalização. *REDE – Revista Eletrônica do Prodem*, 6(1), 7–22. Retrieved from <http://www.revistarede.ufc.br/revista/index.php/rede/article/viewArticle/118>
- Araújo, F. T. V., & Nunes, A. B. A. (2013). A política nacional de resíduos sólidos, a meta de eliminação dos lixões e os desdobramentos nos estados brasileiros. In *XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES.
- ARCADIS – Infrastructure, Environment, F., & EUNOMIA - Research & Consulting. (2009). *Assessment of the options to improve the management of bio-waste in the European Union*. Retrieved from http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/ia_biowaste - final report.pdf
- Assamoi, B., & Lawryshyn, Y. (2012). The environmental comparison of landfilling vs. incineration of MSW accounting for waste diversion. *Waste Management*, 32(5), 1019–1030. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.023>
- Barros, R. G., Dias, P. P., & Araújo, V. K. A. (2015). Investigação de passivo ambiental na área do aterro sanitário de Hidrolândia, GO. *Revista Eletrônica Em Gestão Educação E Tecnologia Ambiental*, 19(3), 73–82. <http://doi.org/105902/2236117018948>
- Benetti, J. K. (2007). *A utilização da projeção populacional na elaboração de projetos de saneamento básico: estudo de caso, Ijuí, RS* (Monograph). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2012a). *Produto 5: Núcleo Centro-Oeste. Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão*. Recife: FADE.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2012b). *Produto 7: Relatório final sobre as principais rotas tecnológicas de destinação de resíduos sólidos urbanos no Exterior e no Brasil. Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão*. Recife: FADE.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2013a). *Produto 10: Relatório final de avaliação técnica, econômica e ambiental das técnicas de tratamento e destinação final dos resíduos*. Jaboatão dos Guararapes.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2013b). *Produto 11: Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão*. Jaboatão dos Guararapes.
- Brasil. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. (1988). Presidência da República. Casa Civil. Subchefia de assuntos jurídicos. 35a edição. 2012. Biblioteca digital da Câmara dos deputados. Centro de documentação e informação. Coordenação de biblioteca. Brasil.

- Brasil. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. (2010). Brasília, DF: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm
- Cherubini, F., Bargigli, S., & Ulgiati, S. (2009). Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, 34(12), 2116–2123. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2008.08.023>
- Colvero, D. A., Carvalho, E. H. de, Pfeiffer, S. C., & Gomes, A. P. (2017). Avaliação da geração de resíduos sólidos urbanos no Estado de Goiás, Brasil: análise estatística de dados. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental - RESA*, 22(51), 931–941. <http://doi.org/10.1590/S1413-41522017159448>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., & Pfeiffer, S. C. (2015). Análise dos custos das rotas tecnológicas dos resíduos sólidos urbanos de Cidade Ocidental, Goiás. *Sodebrás*, 10(117), 196–204. Retrieved from <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N117.pdf>
- DATASUS – Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. (2016a). População residente Goiás - 1980-2012. Retrieved from <http://datasus.saude.gov.br/>
- DATASUS – Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. (2016b). População residente Goiás - 2012-2015. Retrieved from <http://datasus.saude.gov.br/>
- EC – European Commission. (2011). *Roadmap to a Resource Efficient Europe. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*. Brussels. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52011DC0571>
- Feo, G. de, & Malvano, C. (2009). The use of LCA in selecting the best MSW management system. *Waste Management*, 29(6), 1901–1915. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.12.021>
- Figueiredo, F. F. (2012). Similitudes na gestão dos resíduos sólidos urbanos em países centrais e periférico. *Revista Bibliográfica de Geografia Y Ciencias Sociales*, 17. Retrieved from <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-975.htm>
- Garcia, M. B. dos S., Lanzellotti Neto, J., Mendes, J. G., Xerfan, F. M. de F., Vasconcellos, C. A. B. de, & Friede, R. R. (2015). Resíduos sólidos: responsabilidade compartilhada. *Semioses*, 9(2), 77–91. <https://doi.org/10.15202/1981996X.2015v9n2p77>
- Godecke, M. V., Naime, R. H., & Figueiredo, J. A. S. (2012). O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil. *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação E Tecnologia Ambiental*, 8(8), 1700–1712. <http://doi.org/10.5902/223611706380>
- Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), 220–232. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>
- Hannan, M. A., Al Mamun, M. A., Hussain, A., Basri, H., & Begum, R. A. (2015). A review on technologies and their usage in solid waste monitoring and management systems: Issues and challenges. *Waste Management*, 43, 509–523. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.033>

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2013). Projeção da População das Unidades da Federação por sexo e idade: 2000-2030. Retrieved March 8, 2016, from http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/2013/default.shtm
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015). Área territorial brasileira. Retrieved April 17, 2016, from http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2016a). Cidades@Goiás. Retrieved May 4, 2016, from <http://cod.ibge.gov.br/1V4>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2016b). Estados@Goiás. Retrieved May 4, 2016, from <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=go>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2016c). Estados@Tocantins. Retrieved May 4, 2016, from <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=to>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2016d). Estimativa da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2015. Retrieved from http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_dou.shtm
- IMB – Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. (2014). Regiões de planejamento 2013 – Estado de Goiás. Retrieved May 23, 2017, from <http://www.imb.go.gov.br/down/regplan2013.pdf>
- Kontos, T. D., Komilis, D. P., & Halvadakis, C. P. (2005). Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste Management*, 25(8), 818–832. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.04.002>
- Lavee, D., & Nardiya, S. (2013). A cost evaluation method for transferring municipalities to solid waste source-separated system. *Waste Management*, 33(5), 1064–1072. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.026>
- Malakahmad, A., Abualqumboz, M. S., Kutty, S. R. M., & Abunama, T. J. (2017). Assessment of carbon footprint emissions and environmental concerns of solid waste treatment and disposal techniques; case study of Malaysia. *Waste Management*, (September). <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.044>
- Marchi, C. M. D. F. (2015). Novas perspectivas na gestão do saneamento: apresentação de um modelo de destinação final de resíduos sólidos urbanos. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 7(1), 91–105. <http://doi.org/10.1590/2175-3369.007.001.A006>
- Marques, J. A. A. de S., & Sousa, J. J. de O. (2008). *Hidráulica Urbana – Sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais*. Imprensa da Universidade de Coimbra.
- NURSOL/UFG – Núcleo de Resíduos Sólidos e Líquidos da Universidade Federal de Goiás. (2014). *Estudo da integração da logística da coleta seletiva (Produto 5)*. Goiânia/GO.
- Oliveira, M. A. de, & Gonçalves, N. da S. (2015). Estudo comparativo entre o aterro sanitário de Samambaia x lixão da Estrutural. Universidade Católica de Brasília.

- Pereira, A. A., Brito, E. A. C., & Capel, H. S. F. (2009). *Goiás e a vinda da família real para o Brasil - 200 anos*. Goiânia/GO: Biblioteca Municipal Marietta Telles Machado.
- Piñas, J. A. V., Venturini, O. J., Lora, E. E. S., Oliveira, M. A. de, & Roalcaba, O. D. C. (2016). Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). *Revista Brasileira de Estudos de População*, 33(1), 175–188. <http://doi.org/10.20947/S0102-309820160009>
- Pires, A., Martinho, G., & Chang, N.-B. (2011). Solid waste management in European countries: a review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, 92(4), 1033–1050. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.024>
- Qasim, S. R. (1999). *Wastewater treatment plants. Planning, design and operations* (2a). Lancaster PA: Technomic Publishers.
- Rios-Neto, E. L. G., & Riani, J. de L. R. (2004). *Introdução à demografia da educação*. Associação Brasileira de Estudos Populacionais – ABEP.
- Rodrigues, J. C., & Santos, R. F. B. dos. (2015). A geografia política do estado do Tocantins: análise da criação/emancipação de municípios. *Geographia Opportuno Tempore*, 2(1), 21–35. Retrieved from <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/Geographia/article/view/22694>
- SECIMA/GO – Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. (2015). *Nota técnica – aterros sanitários*. Goiânia/GO, Brasil.
- SEGPLAN – Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento, & SEPIN – Superintendência de Estatística Pesquisa e Informações Socioeconômicas. (2011). *Dinâmica populacional de Goiás: uma análise do Censo 2010 do IBGE*. Goiânia. Retrieved from http://www.imb.go.gov.br/down/dinamica_populacional_de_goiias.pdf
- Souza, D. da S. (2011). A distribuição populacional de Goiás frente aos dados do censo demográfico 2010. *Conjuntura Econômica Goiana*, 18(Outubro), 32–43. Retrieved from <http://www.imb.go.gov.br/pub/conj/conj18/artigo03.pdf>
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1993). *Integrated solid waste management - Engineering principles and management issues*. New York: McGraw-Hill.
- World Bank. (2012). *What a Waste. A Global Review of Solid Waste Management. Urban Development & Local Government Unit*. Washington. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25270340>

6. A gestão dos resíduos urbanos e a legislação: uma análise do caso de Portugal e os contributos para o Estado de Goiás, Brasil

Resumo: No Estado de Goiás, Brasil, apenas 15 dos 246 municípios goianos possuem aterros licenciados para depositar os rejeitos dos RU. Diante deste cenário deficitário da gestão dos RU, decidiu-se por avaliar os documentos legais de um país que tenha um modelo de gestão dos RU que possa servir de referência para Goiás. Optou-se por Portugal, pois desde 1997 este país passa por um período de modificações na forma de gerir seus RU. Desse modo, o objetivo deste estudo foi analisar os contributos que as estratégias definidas na legislação de Portugal para a gestão dos RU podem trazer para o Estado de Goiás, assim como analisar o que há na legislação do Brasil e de Goiás acerca da gestão destes resíduos. Os resultados mostraram que, devido à pressão da União Europeia, Portugal criou documentos legais para definir as estratégias para cumprir as metas para os RU. Além disso, Portugal criou os Planos Estratégicos para os Resíduos Urbanos, que foram fundamentais para a melhoria da gestão dos RU no país. Já para Goiás, embora haja legislação para os RU no Brasil e no Estado, o que ainda prevalece é um cenário de precariedade na gestão destes resíduos.

Palavras-chave: Resíduos urbanos; documentos legais; planos estratégicos; Portugal; Estado de Goiás; Brasil.

6.1. Introdução

O crescimento da população brasileira tem contribuído para o aumento da produção de resíduos urbanos (RU) nos municípios do Brasil (Colvero, Gomes, & Pfeiffer, 2015). O acréscimo da produção dos RU é reflexo do estilo de consumo da vida urbana, que acaba por provocar graves danos ambientais em termos globais (Hannan, Al Mamun, Hussain, Basri, & Begum, 2015; Lavee & Nardiya, 2013). Acrescenta-se a este cenário a falta de sistemas adequados para fazer a gestão dos RU, situação recorrente no Brasil, que em 2016 destinou cerca de 42% dos RU recolhidos a aterros controlados ou lixeiras (ABRELPE, 2017).

Goiás é um exemplo de deficitária gestão dos RU no Brasil, pois em 2015, somente 16 dos 246 municípios do Estado encaminharam seus RU para aterros devidamente licenciados, conforme mostra levantamento realizado pela Secretaria de Meio Ambiente,

Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos (SECIMA/GO, 2015). Destes municípios, 14 tem aterro individual e um, o município de Cidade Ocidental, possui um aterro partilhado, que recebe também os RU do município vizinho Valparaíso de Goiás (Colvero et al., 2015).

Para reverter este cenário da gestão dos RU, os decisores dos municípios de Goiás precisam analisar se há normativas e leis brasileiras e do Estado que apontem estratégias para a gestão desses resíduos. Além disso, é válido levantar e analisar os documentos legais de países que passaram pelos problemas similares aos enfrentados por Goiás – e pelo Brasil – e que conseguiram reverter um cenário desfavorável.

Portugal é um caso de país que apresentava problemas na gestão de seus RU, e que conseguiu mudar uma situação adversa. Até o fim da década de 1990, este país possuía 341 lixeiras e apenas 25% da população era servida com deposição final adequada dos RU (Dias, Carvalho, & Limons, 2013). Realidade que começou a ser alterada a partir de 1997, quando foi aprovado para Portugal Continental, o Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos I (PERSU I). De modo que os resultados do PERSU I foram satisfatórios, uma vez que até 2002 todas as lixeiras que existiam no país foram erradicadas, e 100% dos RU recolhidos passaram a ter uma deposição final ambientalmente adequada (Dias et al., 2013).

O conhecimento mais detalhado da legislação europeia e portuguesa acerca dos RU pode ser o caminho para melhor compreender a gestão desses resíduos em Portugal, e assim, tentar mudar o alarmante quadro dos RU em Goiás. Assim, o presente estudo teve por objetivo analisar os contributos que a legislação e as estratégias definidas por Portugal para a gestão dos RU podem trazer para o Estado de Goiás, assim como analisar o que há na legislação brasileira e goiana acerca da gestão dos RU.

6.2. *Materiais e Métodos*

6.2.1. Portugal

Portugal está localizado no extremo sudoeste da Europa, sendo que sua parte continental faz fronteira a norte e a leste com a Espanha, e o restante do perímetro é banhado pelo Oceano Atlântico (INE, 2013). Em 2015, o país possuía uma população de 10,35 milhões de habitantes distribuídos em 308 municípios e alocados em uma área de

92 212 km² (INE, 2014; PORDATA, 2017), o que corresponde a uma densidade populacional de 112,3 habitantes·km⁻².

6.2.2. Estado de *Goiás*

Goiás situa-se na região Centro-Oeste do Brasil e faz fronteira com os Estados de Bahia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Tocantins (Governo de Goiás, 2015). Em 2015 estimava-se que o Estado possuía 6,61 milhões de habitantes residindo em 246 municípios e distribuídos em uma área de 340 111 km² (IBGE, 2010, 2016). A densidade populacional média em Goiás nesse ano era de 19,4 habitantes·km⁻².

6.2.3. Etapas desenvolvidas

Este estudo foi desenvolvido com base em pesquisa bibliográfica por meio de recolha de dados secundários em artigos científicos e sites oficiais da União Europeia, Portugal e Brasil acerca de normativas e legislação vigentes para os RU nestas localidades. Também foram levantados os documentos legais sobre os RU existentes no Estado de Goiás. De forma a facilitar a organização dos dados obtidos, o trabalho foi desenvolvido em duas etapas, conforme apresentado a seguir:

- Levantamento bibliográfico dos principais documentos legais existentes na União Europeia e em Portugal para os RU;
- Levantamento dos principais documentos legais e identificação do panorama e das metas estabelecidas para os RU no Brasil e em Goiás. Por fim, analisou-se os contributos que as estratégias definidas nos documentos legais da União Europeia e de Portugal pode trazer ao contexto da gestão dos RU em Goiás.

6.3. *Resultados e Discussão*

6.3.1. Legislação da União Europeia e de Portugal para os RU

No âmbito da gestão dos RU, a União Europeia (UE) possui um conjunto de documentos legais (regulamentos, diretivas, decisões, recomendações e pareceres) que servem para nortear as ações a serem tomadas por seus Estados-Membros (EM), dentre eles, Portugal. Sendo que os países da UE seguem o definido nestes regulamentos ou criam suas próprias leis a partir do que é estabelecido nesses documentos.

A primeira diretiva europeia relativa aos resíduos sólidos foi a 75/442/EC, de 15 de julho de 1975 (BNDES, 2012a). O objetivo do documento foi eliminar as disparidades

entre a legislação existente nos diferentes EM sobre o tema resíduos sólidos, de forma uniformizar o tratamento dos resíduos nesses países (EEC, 1975). Portugal criou sua primeira legislação voltada para a gestão dos resíduos em 1985, com o Decreto-Lei (DL) n.º 488/85, documento que definia para o país uma linha de ação para a gestão de resíduos com base na recolha, armazenamento, transporte e reutilização ou eliminação dos resíduos (Magrinho, Didelet, & Semiao, 2006). Contudo, até a década de 1990, os RU não tinham uma gestão adequada em Portugal, problema constatado a partir do atraso que o país apresentava em seus sistemas de gestão de resíduos em comparação à maioria dos EM da UE (Ministério do Ambiente, 2014b).

Até o final dos anos 1990, Portugal possuía mais de 300 lixeiras, com os RU, resíduos hospitalares e resíduos industriais sendo depositados no mesmo local (Trotta, 2011). Sistemas que causavam um grande impacto no ambiente, como a contaminação do solo e dos cursos de água (Carvalho & Marques, 2014).

Entretanto, diante da criação de nova regulamentação, Portugal percebeu que precisava agir para mudar a situação da gestão dos RU. Com a criação do Decreto-Lei n.º 239/97, o país aprovou no ano de 1997 (11 anos após sua entrada na UE) o PERSU I (APA, 2014). Este Plano tinha como objetivos a erradicação das lixeiras, quantificação das metas, alteração do enquadramento institucional e dotar o setor dos resíduos com uma gestão empresarial. Algumas metas portuguesas foram alcançadas, como a eliminação das lixeiras e o destino adequado dos RU de toda a população (Dias et al., 2013).

O PERSU I se confirmou como um instrumento que serviu de referência de planeamento na área dos RU. Cabe ressaltar que o PERSU I foi consequência da constante pressão (e do apoio financeiro) da UE para que seus EM diminuíssem a produção e gerissem adequadamente seus RU (Carvalho & Marques, 2014; Silva, 2012). De modo que o PERSU I, aliado à pressão da UE, resultou na reestruturação do setor de resíduos que está a ocorrer em Portugal nos últimos vinte anos.

Paralelamente às mudanças que estavam a ocorrer em Portugal, a UE instituiu a Diretiva 1999/31 (conhecida como Diretiva Aterros), documento que tratou da deposição de RU em aterros (BNDES, 2012a). O objetivo da Diretiva Aterros foi prever medidas que reduzissem ao máximo os efeitos negativos que os aterros geram ao ambiente durante todo o seu ciclo de vida (EC, 1999). A Diretiva Aterros definiu estratégias para a redução de resíduos enviados aos aterros, especificamente RU biodegradáveis, de forma a determinar

metas de diminuição de RU nestes locais para os prazos de cinco, oito e 15 anos. Entretanto, para países como Portugal, que até 1995 depositavam mais de 80% dos RU em aterros, este prazo foi estendido por mais quatro anos. A Diretiva Aterro foi um dos mais importantes documentos legais criados pela UE na gestão dos RU, pois com a limitação do quantitativo de resíduos a ser depositado nos aterros, os EM precisaram reorganizar a gestão dos RU (EC, 1999).

A obrigatoriedade (perante a UE) de alcançar as metas definidas pela Diretiva Aterros começou a conduzir Portugal à elaboração do Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos II (PERSU II). Esta diretiva foi transposta por Portugal através do Decreto-Lei n.º 152/2002, alterado posteriormente pelo Decreto-Lei n.º 183/2009, documento este que tem como objetivos evitar ou minimizar os efeitos negativos da deposição de resíduos em aterro, como a poluição atmosférica, das águas superficiais e subterrâneas e do solo, assim como os riscos à saúde humana. O Decreto-Lei n.º 183/2009 definiu ainda estratégias de redução dos RU biodegradáveis destinados a aterros em Portugal (Ministério do Ambiente, 2009a).

Após a Diretiva Aterros, a UE instituiu a Diretiva 2000/76/EC, que regulamenta acerca da incineração dos resíduos. Este documento teve como objetivo prevenir ou reduzir ao mínimo os impactos que a incineração e co-incineração de resíduos geram ao ambiente (EC, 2000). Para transpor a Diretiva 2000/76/EC, Portugal criou o Decreto-Lei n.º 85/2005, que estabeleceu as diretrizes a que ficam sujeitas a instalações de incineração e co-incineração de resíduos sólidos em Portugal (Ministério do Ambiente, 2005).

Apesar do PERSU I ter sido precursor na organização do setor de RU, apresentou metas que não foram alcançadas, como a percentagem de RU depositados em aterros (Ministério do Ambiente, 2007) e o aumento em 15,6% na geração *per capita* de RU, passando de 398 kg·hab⁻¹·ano⁻¹ em 1996 para 460 kg·hab⁻¹·ano⁻¹ em 2006 (Eurostat, 2014; Ministério do Ambiente, 2014b). Sendo assim, apesar dos resultados positivos obtidos no PERSU I (definido entre os anos de 1997 a 2006) houve a necessidade de reorganizar as estratégias para corrigir os erros cometidos neste Plano (Carvalho & Marques, 2014). Diante disso, criou-se o PERSU II, um Plano estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 178/2006, e que foi o novo marco para o horizonte de 2007 a 2016 (Ribeiro, Castro, Macedo, & Carvalho, 2011).

Com o PERSU II, Portugal definiu estratégias para orientar a gestão dos RU nos seguintes aspetos: redução, reutilização e reciclagem; separação dos resíduos na fonte; minimização de deposição em aterros; valorização energética para tratar a fração não

reciclável e sustentabilidade dos sistemas de gestão dos RU (Ministério do Ambiente, 2014b). Considerou-se também a inserção das unidades de tratamento mecânico e biológico (TMB) e triagem de embalagens na rota dos RU (Barros & Cabeças, 2015). Um dos contributos dos TMB foi a possibilidade de encaminhar parte dos materiais recicláveis recolhidos de forma indiferenciada para a reciclagem (Cruz & Marques, 2014).

Além disso, preocupado com a gestão dos resíduos e visando reduzir a quantidade de resíduos nos aterros, em 2009, o governo português criou o Despacho n.º 21295. Este documento aprovou a estratégia para os combustíveis derivados de resíduos (CDR), com um horizonte temporal de 2009 a 2020. Esta estratégia foi um complemento para o PERSU II, que tinha como forte elemento a reciclagem material e orgânica para desviar resíduos dos aterros (Ministério do Ambiente, 2009b). Atualmente, os CDR são comercializados somente com a indústria cimenteira. Contudo, há expectativa de que estes materiais sejam encaminhados para outros setores industriais, possibilitando assim a ampliação do mercado para os CDR, que ainda não se encontra estabelecido no país (Vazquez & Cabeças, 2015).

Sendo que um ano antes do Despacho n.º 21295, em 2008, surgiu a Diretiva 2008/98/EC, documento que apresentou dois grandes objetivos: promover o uso de matérias primas secundárias com origem nos resíduos e simplificar a legislação existente no domínio dos resíduos. Além disso, foram estabelecidas novas metas para a reciclagem para 2020 (EC, 2008). Esta diretiva levou à alteração do Decreto-Lei n.º 178/2006 através da publicação do Decreto-Lei n.º 73/2011, que estabeleceu diretrizes gerais quanto à prevenção, produção e gestão dos resíduos (Ministério do Ambiente, 2011). Em maio de 2018, a UE criou a Diretiva 2018/851/EU, que altera a Diretiva 2008/98/EC (EU, 2018). Nesta nova diretiva estão definidos importantes conceitos que não estavam presentes na Diretiva 2008/98/EC como, por exemplo, a definição de RU, que deve estar alinhada com a definição dos demais EM, para que se possa realizar uma monitorização mais eficaz dos avanços nos cumprimentos das metas de desvios de RU dos aterros (EU, 2018).

Apesar dos esforços e diante dos desafios enfrentados, Portugal percebeu que o PERSU II tinha objetivos ambiciosos e inatingíveis, o que desencadeou a necessidade de reformular as metas. Com o objetivo de manter a prossecução das obrigações do país na questão da gestão dos RU, através da Portaria n.º 187-A/2014, foi aprovado o Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos 2020 – PERSU 2020 (Ministério do Ambiente, 2014b). Segundo Barros & Cabeças (2015), o PERSU 2020, previsto para o período de

2014 a 2020, visa cumprir as metas da UE de preparação para a reutilização e reciclagem, de deposição de resíduos urbanos biodegradáveis (RUB) e a retoma da recolha diferenciada (dando enfoque à recolha dos RUB).

O PERSU 2020 surgiu para reformular as estratégias para os RU, com ênfase em lacunas que foram identificados na última avaliação do PERSU II, mas que não tiveram a devida atenção. Dentre estes itens estão a necessidade em atender a nova meta da UE de preparação para reutilização e reciclagem para o ano de 2020 e assegurar valor económico e escoamento dos recicláveis e outros materiais provenientes do tratamento dos RU, como é o caso dos CDR (Ministério do Ambiente, 2014b).

Essa reformulação do PERSU teve influência direta dos documentos legais da UE sobre resíduos, de forma que se percebe o claro intuito da UE em regulamentar a gestão e tratamento dos resíduos sólidos de seus EM. Contudo, o modo como serão alcançadas as metas estipuladas fica a cargo de cada país membro (BNDES, 2012a). Atualmente, os principais documentos legais europeus e portugueses sobre RU estão apresentadas na Tabela 6-1 (EC, 1999, 2008; EU, 2013; Ministério do Ambiente, 2011, 2013, 2014a).

Tabela 6-1: Principais documentos legais portugueses e da União Europeia em matéria de RU.

Assunto	Documento orientador da União Europeia	Documento português
Regime geral da prevenção produção e gestão de resíduos	Diretiva 2018/851/EU	Decreto-Lei n.º 178/2006, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011
Licenciamento	—	Decreto-Lei n.º 178/2006, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011
Aterros	Diretiva 1999/31/EC e Decisão n.º 2003/33/EC – define os critérios de admissão de resíduos em aterros	Decreto-Lei n.º 183/2009
Incineração e co-incineração	Diretiva 2000/76 EC	Decreto-Lei n.º 85/2005
Resíduos urbanos	—	Portaria n.º 851/2009
Embalagens e resíduos de embalagem	Diretiva 94/62/EC, Diretiva 2004/12/EC e Diretiva 2013/2/EU da Comissão	Decreto-Lei n.º 366-A/97, alterado pelos Decretos-Lei n.º 162/2000, 92/2006, 178/2006, 73/2011 e 110/2013

Fonte: Adaptado de EC (1999), EU (2013, 2018) e Ministério do Ambiente (2011, 2013, 2014a).

Na prática, nota-se uma evolução na gestão dos RU em Portugal, não somente em comparação aos anos 1990, mas também num horizonte temporal de cinco anos. De acordo com dados da APA (2015a), entre 2010 e 2015, o envio direto de RU para os aterros reduziram de 62% para 35% (Figura 6-1). Sendo que, em termos percentuais, 25% dos 27% de RU que deixaram de ser encaminhados diretamente para os aterros nestes cinco anos tiveram como destino o tratamento mecânico (TM) e o TMB. Contudo, a valorização material e a valorização energética praticamente não se alteraram entre 2010 a 2015.

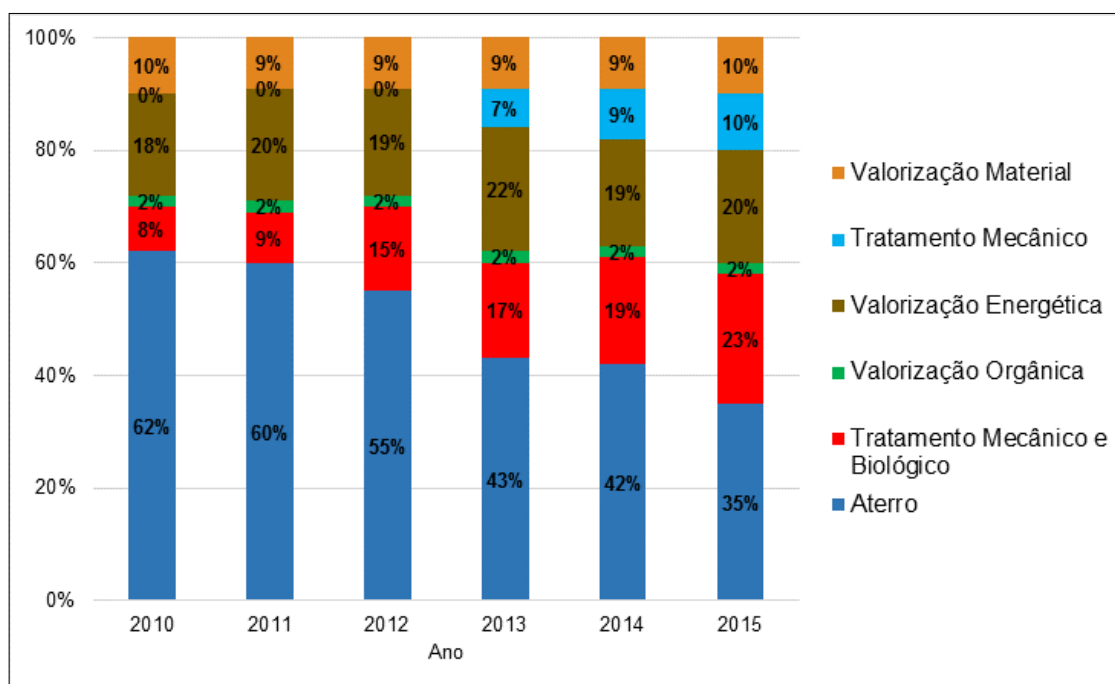


Figura 6-1: Destino direto dos resíduos urbanos em Portugal.

Fonte: Adaptado de APA (2015a).

6.3.2. Regulação dos resíduos sólidos em Portugal

O setor de resíduos sólidos em Portugal é regulado por duas entidades. Uma delas é a Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos – ERSAR, uma agência autónoma criada através do Decreto-Lei n.º 362/98, que faz a regulação económica dos serviços de gestão de resíduos sólidos no país (Ministério do Ambiente, 1998). Sendo que, a partir do Decreto-Lei n.º 277/2009, a ERSAR teve sua participação ampliada no âmbito de intervenção a todas as prestadoras desses serviços (Ministério do Ambiente, 2009c). Com isso, todos os serviços municipais e municipalizados de gestão de resíduos sólidos passaram a ser regulados economicamente pela ERSAR, que faz o controlo tarifário (via amostragem) nos serviços prestados (Simões, Pires, & Marques, 2013).

A regulação da ERSAR é realizada através de um mecanismo utilizado pelo órgão, que avalia qualitativamente a atuação de cada prestador como “boa”, “média” ou “insatisfatória”, de acordo com a discrepância entre os valores de referência e os resultados obtidos (Marques & Simões, 2008). Em 2015, a ERSAR regulou 282 entidades gestoras de RU que operam em Portugal Continental. Esta regulação foi feita tanto dos serviços de tratamento de RU – sistema de “alta”, quanto da recolha diferenciada e indiferenciada desses resíduos – sistema de “baixa” (Lobo & Silva, 2015). O sistema em “baixa” se refere ao sistema de gestão de recolha dos RU, que são de responsabilidade dos municípios, e englobam desde os locais de recolha até estações de transferência (ET). Caso as ET não existam, vão até os sistemas de tratamento e valorização. Já os sistemas de “alta” limitam-se às operações de gestão, que começam nas ET e vão até a deposição final (Simões & Marques, 2009). As atividades desempenhadas pela ERSAR representam uma iniciativa que visa garantir a transparência e o estímulo à melhoria contínua dos serviços prestados (Simões et al., 2013).

A outra entidade reguladora é a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), órgão que é a autoridade nacional de resíduos criada pelo Decreto Regulamentar n.º 53/2007. A APA tem a incumbência de propor, acompanhar e desenvolver a execução de políticas do ambiente, como a criação de estratégias referente a gestão de resíduos sólidos (Simões et al., 2013). Assim como, visando obter uma melhor qualidade do serviço prestado à população, a APA deve buscar uma maior eficácia na gestão das políticas do ambiente e desenvolvimento sustentável (Ministério do Ambiente, 2007).

6.3.3. Legislação do Brasil para os RU

De acordo com Brollo & Silva (2001), ainda que de forma bastante genérica, a primeira legislação brasileira que abordou a questão da gestão dos resíduos sólidos foi a Lei n.º 5318, de 1967. Esta legislação, conhecida como Política Nacional de Saneamento (PNS) estabeleceu a necessidade de controlo da poluição ambiental, inclusive dos resíduos sólidos (Brasil, 1967).

Alguns anos depois, em 1981, foi instituída a Lei n.º 6938, também chamada de Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA). Este documento legal foi um pouco além em relação a PNS, de modo que tratou os resíduos sólidos como atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos ambientais (Brasil, 1981). Já em 1998, foi criada a Lei n.º 9605, conhecida como Lei de Crimes Ambientais. Esta regulamentação definiu

como crime ambiental o lançamento de resíduos sólidos em locais inadequados (Brasil, 1998), entretanto, assim como a legislação até então, não tratou de forma aprofundada da questão dos resíduos sólidos.

Além disso, o governo brasileiro identificou que muitos municípios (principalmente os de pequeno porte) não possuíam condições financeiras nem infraestrutura para fazer individualmente a gestão de serviços públicos, como é o caso dos RU. Desta forma, em 2005 foi criada a Lei Federal n.º 11107 (conhecida como Lei dos Consórcios Públicos), que dispõe acerca das normas de contratação de consórcios públicos entre municípios com objetivos de interesse comum (Brasil, 2005). A Lei dos Consórcios, regulamentada pelo Decreto n.º 6017/2007, possibilitou que dois ou mais municípios se unissem para realizar a prestação de serviços públicos, como é o caso da deposição final dos RU (Suzuki & Gomes, 2009). Essa força conjunta dos municípios visou sanar problemas na gestão dos RU, como a erradicação das lixeiras (Lucena et al., 2015).

Outra importante regulamentação foi criada em 2007, quando foi sancionada a Lei n.º 11445, que institui as diretrizes para o saneamento básico no Brasil. Este documento legal, também chamado de Política Nacional do Saneamento Básico (PNSB) e regulamentado pelo Decreto n.º 7217/2010, define saneamento básico como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, drenagem e saneamento de águas residuais e águas pluviais urbanas e gestão dos resíduos sólidos. Sendo que a gestão dos resíduos sólidos abrange as atividades referentes à recolha, transporte, ET, tratamento e deposição final desses resíduos (Brasil, 2007).

Três anos depois da PNSB, em 2010, foi criada a mais importante regulamentação brasileira na área dos resíduos sólidos, quando foi aprovada a Lei n.º 12305, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS, regulamentada pelo Decreto n.º 7404/2010, ao estabelecer princípios, objetivos, diretrizes, instrumentos, responsabilidades e ações, representa um marco regulatório para a questão dos resíduos sólidos no Brasil (Brasil, 2010a).

A PNRS também abordou a problemática da deposição final de resíduos em lixeiras e aterros controlados, ao determinar que a partir do mês de agosto de 2014 todos os municípios brasileiros deveriam dar um destino ambientalmente adequado aos refugos dos resíduos sólidos (Brasil, 2010b). A Lei n.º 12305 definiu a seguinte hierarquia de ações prioritárias na gestão dos resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem,

tratamento e deposição final. De modo que, somente após esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, os RU devem ser enviados para os aterros (Brasil, 2010b).

A PNRS também foi importante porque suportou a Lei n.º 11445/2007, pois um de seus instrumentos é o incentivo à constituição de consórcios ou outras formas de cooperação entre os municípios, com o objetivo de diminuir os custos e maximizar o aproveitamento das estruturas. Assim como a PNSB, a PNRS mostra claramente que a intenção do governo do Brasil é criar mecanismos para que os municípios se unam para resolver o problema da gestão dos resíduos sólidos (Brasil, 2010a).

Além dos documentos legais, em 2012 foi apresentado o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), documento que aponta um plano de metas para mudar o atual cenário da gestão dos resíduos sólidos no país. O PLANARES tem prazo indeterminado de vigência e abrange um horizonte de 20 anos (MMA, 2012).

A expectativa era que o cenário dos resíduos sólidos no Brasil fosse efetivamente mudar com o surgimento de documentos como a PNRS e o PLANARES. Entretanto, ao invés de buscar alternativas para erradicar as lixeiras e criar mecanismos para desenvolver adequados sistema de gestão de RU, o país ainda discute a possibilidade de prorrogar o tempo determinado na PNRS para a erradicação dos inadequados sistemas de deposição final, nomeadamente os aterros controlados e as lixeiras.

6.3.4. Legislação do Estado de Goiás para os RU

No Estado de Goiás, no que se refere aos RU, a primeira regulamentação criada foi a Lei n.º 8544 (Goiás, 1978) que dissertava sobre o controle da poluição no ambiente. Esta legislação, instituiu que o resíduos poderiam ser depositados no solo (ou seja, nos aterros), desde que fosse feito de forma adequada e estabelecido em projetos de transporte e deposição final. Este documento legal definiu que os aterros deveriam ser construídos de acordo com as especificações técnicas, de modo a garantir as devidas precauções para proteger as águas superficiais e subterrâneas (Goiás, 1979).

Outra regulamentação de destaque na esfera Estadual foi a Lei n.º 14248/2002, que dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS). De acordo com esta legislação, os municípios devem fazer a gestão dos RU, prioritariamente, de forma integrada. A PERS definiu ainda pela proibição da deposição ou queima de resíduos sólidos a céu aberto em áreas urbanas ou rurais, assim como o lançamento destes resíduos

em mananciais, cursos de água, terrenos baldios ou sistemas de rede de drenagem de águas pluviais (Goiás, 2002a).

Mesmo com legislação específica para os RU, no ano de 2011, mediante o cenário da deposição desses resíduos em Goiás, foi publicada a Instrução Normativa n.º 005 (IN n.º 005). Este documento, da antiga Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás – SEMARH/GO (atual SECIMA/GO), teve o objetivo de fornecer diretrizes para o licenciamento e implantação simplificada de aterros em municípios ou consórcios com até 50 mil habitantes (SEMARH/GO, 2011).

Em 2013, esta normativa foi revogada pela Instrução Normativa n.º 011 (IN n.º 011), diferindo essencialmente, quanto ao porte do município ou consórcio, que passou a ser de até 100 mil habitantes (SEMARH/GO, 2013a). Isso significou abranger quase a totalidade dos municípios goianos, tendo em vista que em 2015 apenas doze municípios possuíam população superior ao estabelecido na IN n.º 011 (IBGE, 2016).

Sendo que em 2014, no intuito de fortalecer a obrigatoriedade do cumprimento de seu conteúdo, a IN n.º 011 foi revogada pela Resolução n.º 005 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMAM). A grande diferença deste documento legal é que os aterros a serem licenciados não poderão mais ter caráter simplificado, como estava estabelecido nas IN's n.º 005 e n.º 011. Esta nova Resolução apontou que neste tipo de licenciamento não há a necessidade de um Estudo de Impacto Ambiental – EIA, assim como um Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Ademais, o aterro deve ser construído e operado de acordo com todas as normas e técnicas de engenharia exigidas (SEMARH/GO, 2014).

Salienta-se ainda que não há em Goiás documentos legais restritivos à implantação de tecnologias de tratamento de RU, embora se perceba familiaridade com as soluções atualmente utilizadas, que são as centrais de triagem de materiais recicláveis e os aterros. Cabe salientar que os documentos legais dos Estados e municípios brasileiros devem estar alinhados à legislação nacional, pois os documentos legais federais são supremos, de forma que as demais leis derivam e são subordinadas ao que é determinado pelo país. Desta forma, os Estados e municípios devem estabelecer legislação que não contrarie o que é determinado pelas leis em âmbito nacional.

Na Tabela 6-2 estão apresentados os principais documentos legais goianos relacionados aos resíduos sólidos (Goiás, 1978, 1979, 2002a, 2002b; SEMARH/GO, 2013c, 2014).

Tabela 6-2: Dispositivos legislativos relacionados aos resíduos sólidos no Estado de Goiás.

Documento e ano de publicação	Descrição do documento
Lei n.º 14248/2002	Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências
Lei n.º 14384/2002	Institui o cadastro técnico estadual de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadora de recursos naturais integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, a taxa de fiscalização ambiental e dá outras providências
Lei n.º 8544/1978	Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente no Estado de Goiás
Decreto n.º 1745/1979	Aprova o regulamento da Lei n.º 8544 de 17 de outubro de 1978, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente
Resolução n.º 005/2014 – CEMAm	Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental dos projetos de deposição final dos RU, na modalidade aterro, nos municípios de Goiás
Resolução n.º 24/2013	Dispõe sobre os critérios para descentralização do licenciamento ambiental e dá outras providências

Fonte: Adaptado de Goiás (1978, 1979, 2002a, 2002b) e SEMARH/GO (2013c, 2014).

6.3.5. Análise da legislação, do panorama e das metas para os RU no Brasil e em Goiás

O cenário mostra que o Brasil caminha para uma cobertura do serviço de recolha dos RU que sirva toda a população. Conforme relatório elaborado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, em 2009 o país gerou 57 milhões de toneladas de RU, sendo que 88% deste quantitativo foram recolhidos. Entretanto, o grande entrave estava na deposição final destes resíduos, pois nesse ano apenas 57% do quantitativo de RU recolhido foi encaminhado para um sistema de deposição final adequada (ABRELPE, 2010).

Passados seis anos, este cenário pouco se alterou, mesmo após a criação da PNRS em 2010. Em 2015 foram geradas quase 80 milhões de toneladas de RU, um aumento de 40% em comparação a 2009. Ao todo, 91% do total de RU gerado foi recolhido, sendo que somente 59% foi enviado para deposição final adequada. Em valores *per capita*, houve um aumento na produção de RU de $0,98 \text{ kg} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$, em 2009, para $1,07 \text{ kg} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ em 2015 (ABRELPE, 2010, 2016). Estes dados ratificam que o país está na contramão dos países da Europa, por exemplo, que estão a reduzir a produção de RU.

Da mesma forma que acontece no Brasil, Goiás também possui dificuldades em gerir corretamente seus RU. De acordo com a SEMARH/GO (2013b), nos anos de 2004 e 2005 a Agência Ambiental de Goiás realizou o primeiro levantamento do panorama dos

RU no Estado. Sendo que os resultados obtidos apontaram que 96,7% dos municípios goianos possuíam lixeiras ou aterros controlados. Em 2006 o cenário continuou desfavorável, com 95% dos municípios goianos com lixeiras ou aterros controlados (Ferreira, 2006). Entre agosto de 2008 e abril de 2009 a SEMARH/GO fez um novo diagnóstico da situação dos RU no Estado. Identificou-se que a situação havia piorado em relação a 2006, pois 96,1% dos entes federados do Estado encaminhavam seus RU para locais inadequados (Ferreira & Silva, 2011).

Após a criação da PNRS em 2010, esperava-se que o Estado seguisse novos rumos quanto à gestão de seus RU. Contudo, de acordo com levantamento de 2015, dos 246 municípios do Estado, 93,5% enviaram seus RU para lixeiras ou aterros controlados (SECIMA/GO, 2015). Em termos de quantitativos, em 2015 apenas 22,8% dos cerca de 1,8 milhões de toneladas de RU gerados em Goiás foram para aterros, sendo que os demais 77,2% foram enviados para aterros controlados ou lixeiras (69%), reciclagem (1,3%) ou não foram recolhidos e acabaram despejados em terrenos baldios, corpos de água, vias públicas (6,9%).

Na Tabela 6-3 está apresentado o panorama dos RU em Goiás entre os anos de 2004 e 2015 (Ferreira, 2006; Ferreira & Silva, 2011; SEMARH/GO, 2013b; SECIMA/GO, 2015). Esses dados mostram em um período de cerca de 10 anos, o cenário do número de aterros licenciados em Goiás permaneceu praticamente inalterado. Neste período, o número máximo de municípios com aterros licenciados pela SECIMA/GO são os atuais 15. Isso evidencia que Goiás, mesmo com a obrigatoriedade instituída pela Lei n.º 12305/2010 em erradicar as lixeiras, aliada à Lei Estadual n.º 14248/2002 e a Resolução n.º 005/2014, está com problemas na gestão de seus RU.

Tabela 6-3: Panorama da deposição final de RU em Goiás entre 2004 e 2015.

Tipo de deposição final	2004-2005 (%)	2006 (%)	2008-2009 (%)	2015 (%)
Lixeira	74,8	69,0	62,9	84,1
Aterro não licenciado	21,9	26,0	33,2	9,4
Aterro licenciado	3,3	5,0	3,9	6,5

Fonte: Adaptado de Ferreira (2006), Ferreira & Silva (2011), SEMARH/GO (2013b) e SECIMA/GO (2015).

Em suma, o Estado de Goiás não está a cumprir com as metas estabelecidas pelo PLANARES para a região Centro-Oeste do Brasil quanto aos desvios de resíduos recicláveis secos e RU biodegradáveis em aterros (MMA, 2012), assim como não cumpriu

com as diretrizes de erradicação da deposição final inadequada dos RU, estabelecida pela PNRS (Brasil, 2010a). Além de não ter eliminado as lixeiras, o alcance da coleta diferenciada de recicláveis ainda é insuficiente nos municípios goianos. Estima-se que em torno de 1,9% dos RU sejam recolhidos e encaminhados para centrais de triagem em Goiás. Considerando-se que em torno de 70% dos resíduos potencialmente recicláveis que chegam às centrais sejam recuperados (Colvero, Pfeiffer, & Carvalho, 2016), estima-se que apenas 1,3% do total de RU é efetivamente encaminhado para a reciclagem. Este valor corresponde a apenas 32% da meta de desvio dos aterros de materiais recicláveis, estabelecida pelo PLANARES para Goiás para 2015, que era de 4,1% do total de RU (MMA, 2012).

Outra meta não atingida se refere à redução de RU biodegradáveis dispostos nos aterros. De acordo com BNDES (2012b), Chapadão do Céu é o único município goiano que possui um sistema de gestão que faça a valorização dos RU biodegradáveis, através de uma central de compostagem. Estima-se que o quantitativo de resíduos desviados do aterro de Chapadão do Céu em 2015, através da compostagem, corresponda a menos de 0,1% do total de RU gerado em Goiás nesse ano, valor muito abaixo da meta do PLANARES de desvio de RU biodegradáveis dos aterros para 2015, que era de 8,4% do total de RU (MMA, 2012).

Também há a questão financeira dos sistemas de gestão de RU. Estima-se que quase todos os municípios goianos não façam cobrança à população de tarifa específica dos RU. Sendo que no município de Anápolis, único caso em que identificou-se a existência de uma tarifa específica para os RU, o valor arrecadado é insuficiente para arcar com os custos operacionais de coleta, transporte, tratamento e deposição final dos RU (SEMMA/Anápolis, 2015). Desse modo, pode-se afirmar que a gestão dos RU de Goiás é financiada pelas próprias prefeituras, que muitas vezes utilizam os recursos arrecadados com o Imposto Predial e Territorial Urbano – IPTU. Isso contradiz o PLANARES, que estabelece que os municípios brasileiros devem cobrar uma taxa/tarifa pelos serviços de coleta, tratamento e deposição final dos RU sem vinculá-los ao IPTU (MMA, 2012), visto que este é um tributo insuficiente para custear a gestão desses resíduos, além de não ter sido criado para esta finalidade. Tal qual ocorre em Portugal, deve haver a cobrança de uma taxa/tarifa que possibilite manter os sistemas de gestão de resíduos sólidos, assim como uma agência que regule esta cobrança.

O que se observa é que Goiás tem metas claras para os desvios de RU dos aterros, faltando articulação entre os municípios e o governo goiano para que estas metas sejam cumpridas. Para isso, Goiás deve seguir o que fez Portugal, com uma estratégia que foque na prevenção e redução da geração de RU, assim como incentivo à reutilização, reciclagem e valorização dos RU produzidos, utilizando os aterros para o envio dos refugos (Silva, 2012). O Estado deve pensar em todo o sistema, desde a recolha até a deposição final, assim como precisa trabalhar a questão de educação ambiental, para que a população assuma o seu papel e ajude os municípios a cumprirem as metas definidas pelo PLANARES.

Ainda fazendo um comparativo com Portugal (que é pressionado pela UE para cumprir com as metas estabelecidas para a gestão dos RU), falta em Goiás o estabelecimento de medidas restritivas para aqueles municípios que descumprem as leis, assim como medidas de incentivo para que os municípios que alcancem as metas estabelecidas. Um exemplo é a priorização do acesso aos recursos da União para aqueles municípios que criarem sistemas partilhados de gestão dos RU, tal como estabelece a PNRS (Brasil, 2010a). Em 2015, 91% dos municípios goianos eram de pequeno porte (IBGE, 2016), ou seja, menores de 50 mil habitantes (Araújo & Nunes, 2013), de modo que a criação de sistemas partilhados para a gestão dos RU permitirá um ganho de escala e reduzirá os custos com o tratamento e deposição final dos RU. Ter apenas um caso de sistema partilhado (Cidade Ocidental e Valparaíso de Goiás, que partilham apenas a deposição final – Colvero et al., (2015)) é muito pouco para um Estado que tem tantos problemas na gestão dos RU. Neste sentido, mais uma vez Portugal deve servir de exemplo, pois a criação dos atuais 23 sistemas partilhados de gestão dos RU permitiu ao país mudar o panorama destes resíduos (APA, 2015b).

Finalmente, é importante destacar que o Estado de Goiás, em parceria com os municípios, precisa definir uma estratégia realista, exequível e que atenda a legislação brasileira e goiana acerca da gestão dos RU.

6.4. Considerações Finais

Um sistema adequado de gestão dos RU deve ser referendado por um conjunto de documentos legais que apontem estratégias, metas e prazos a cumprir. A legislação da UE serviu de referência para que Portugal criasse suas próprias diretrizes e alterasse o cenário da gestão dos resíduos sólidos. Além disso, cabe ressaltar que a pressão exercida pela UE

para que seus EM atendessem (e continuem a atender) as metas instituídas foi fundamental para essa mudança.

A partir da criação dos Planos Estratégicos para os Resíduos Urbanos (PERSU I, II e 2020), Portugal tem conseguido alterar o cenário da gestão dos RU. Esses Planos, aliados aos documentos legais, foram essenciais para o país erradicar as lixeiras, além de garantir que a totalidade da população fosse servida com um destino adequado de seus RU. Permitiu ainda que o país fosse além, pois passou a desviar maiores percentagens de RU dos aterros.

Quanto ao panorama dos RU no Brasil, o país tem legislação e metas estabelecidas para seus resíduos, o que é um passo importante para alterar o cenário negativo da gestão dos RU. A PNRS é uma diretriz que evidencia a preocupação do país com a questão dos resíduos. O Estado de Goiás também conta com regulamentação na área de resíduos sólidos. Destaque para a Lei n.º 14248/2002, que dispõe sobre a PERS, e para a Resolução CEMAm n.º 005/2014. Estes documentos legais apontam que o caminho a seguir é a criação de sistemas partilhados para a deposição final de RU. Contudo, é importante que Goiás observe que um sistema de gestão de RU envolve mais do que a deposição final dos RU. Obviamente que a erradicação das lixeiras e dos aterros controlados é necessária, entretanto, o Estado deve pensar em toda a rota tecnológica dos seus resíduos sólidos. A começar pela necessidade dos municípios em reduzir a produção de RU, ampliação dos serviços de recolha e triagem de materiais recicláveis para atingir as metas do PLANARES, assim como criação de sistemas que tratem e desviem uma parte dos RU biodegradáveis dos aterros.

Goiás deve seguir o exemplo de Portugal e criar uma estratégia para alcançar as metas definidas. Esta estratégia deve ser realista, contudo, deve cumprir com o determinado pela legislação. O Estado pode instituir medidas restritivas para aqueles municípios que não obedeçam as normativas e os documentos legais, assim como ações de incentivo para os que alcançarem as metas previstas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Brasil. O 1º autor, Diogo Appel Colvero, é investigador do CNPq, Processo n.º 207172/2014-5.

Referências Bibliográficas

- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2010). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2009*. São Paulo. Retrieved from <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2009.pdf>
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas Públicas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2016). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015*. São Paulo. Retrieved from http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2017). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016*. [https://doi.org/ISSN 2179-8303](https://doi.org/ISSN%202179-8303)
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente. (2014). *Resíduos Urbanos: Relatório anual 2013*. Departamento de Resíduos.
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente. (2015a). Relatório anual resíduos urbanos 2015. Retrieved from https://www.apambiente.pt/_cms/view/page_doc.php?id=1460
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente. (2015b). Relatório anual resíduos urbanos 2015 - fichas individuais por SGRU. Retrieved from https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Residuos/Residuos_Urbanos/Fichas_SGRU_2016.pdf
- Araújo, F. T. V., & Nunes, A. B. A. (2013). A política nacional de resíduos sólidos, a meta de eliminação dos lixões e os desdobramentos nos estados brasileiros. In XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, RJ.
- Barros, C., & Cabeças, A. J. (2015). Desafios e Oportunidades do PERSU 2020. In M. A. T. Russo, C. Vilarinho, G. A. Lopes, & N. Caetano (Eds.), *Book of Extended Abstracts of the Congress Challenges on Waste in a Circular Economy: 9.th International Technical Conference on Waste 2015* (pp. 134–144). Lisboa.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2012a). Produto 4: Relatório final do perfil institucional, quadro legal e políticas públicas relacionados a resíduos sólido. Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Recife: FADE.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2012b). Produto 5: Núcleo Centro-Oeste. Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Recife: FADE.
- Brasil. Lei n.º 5.318, de 26 de setembro de 1967. (1967). Brasília, DF: Institui a Política Nacional de Saneamento e cria o Conselho Nacional de Saneamento. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L5318.htm
- Brasil. Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981. (1981). Brasília, DF: Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm
- Brasil. Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. (1998). Brasília, DF: Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm

- Brasil. Lei n.º 11.107, de 6 de abril de 2005. (2005). Brasília/DF: Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111107.htm
- Brasil. Lei n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007. (2007). Brasília, DF: Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei n.º 6.528, de 11 de maio de 1978. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm
- Brasil. Decreto n.º 7.404, de 23 de dezembro de 2010. (2010a). Brasília, DF: Regulamenta a Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm
- Brasil. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. (2010). Brasília, DF: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm
- Brollo, M. J., & Silva, M. M. (2001). Política e gestão em resíduos sólidos. Revisão e análise sobre a atual situação no Brasil. In *XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. João Pessoa: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Carvalho, P., & Marques, R. C. (2014). Economies of size and density in municipal solid waste recycling in Portugal. *Waste Management*, 34(1), 12–20. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.004>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., & Pfeiffer, S. C. (2015). Análise dos custos das rotas tecnológicas dos resíduos sólidos urbanos de Cidade Ocidental, Goiás. *Sodebrás*, 10(117), 196–204. Retrieved from <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N117.pdf>
- Colvero, D. A., Pfeiffer, S. C., & Carvalho, E. H. de. (2016). Materiais recicláveis provindos dos resíduos urbanos: caso de estudo para o estado de Goiás, Brasil. In P. J. Ramísio, G. A. Lopes, L. M. C. Pinto, F. Leite, & M. J. Rosa (Eds.), *A Engenharia Sanitária nas Cidades do Futuro: Livro de Comunicações do 17.o Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental/ENASB* (pp. 713–720). Lisboa.
- Cruz, N. F. da, & Marques, R. C. (2014). Análise econômica do sistema da reciclagem em Portugal. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 19(3), 335–344. <http://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000000190>
- Dias, N., Carvalho, M. T., & Limons, R. (2013). Challenges in the deactivation of more than 2000 open dumping sites in Brazil. In *Sardinia 2013, Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium*. Cagliary, Italy: CISA.
- EC – European Commission. (1999). *European Council Directive 1999/31/EC of 26 april 1999 on the landfill of waste*. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999L0031&from=es>
- EC – European Commission. (2000). Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste. Retrieved from

- <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0076&from=EN>
- EC – European Commission. (2008). *European Parliament and Council. Directive 2008/98/EC of 22 november 2008 on waste and repealing certain Directives*. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=PT>
- EEC – European Economic Community. (1975). *European Council Directive 75/442/EEC of 15 july 1975 on waste*. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31975L0442&from=PT>
- EU – European Union. Directive 2013/2/EU of 07 february (2013). Amending annex I to directive 94/62/EC of the European Parliament and of the council on packaging and packaging waste.
- EU – European Union. (2018). *European Parliament and of the Council. Directive 2018/851/EC of 30 may 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste*. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=PT>
- Eurostat – Gabinete de Estatísticas da União Europeia. (2014). *Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method*. Retrieved from <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdpc240>
- Ferreira, O. M. (2006). Diagnóstico do monitoramento dos projetos de disposição de lixo urbano nos municípios goianos. Goiânia/GO: Agência Goiana de Meio Ambiente – AGMA. Retrieved from http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/rsudoutrina_06.pdf
- Ferreira, O. M., & Silva, K. A. (2011). Diagnóstico da disposição final de resíduos sólidos urbanos no estado de Goiás. *Estudos*, 38(2), 227–233. Retrieved from <http://seer.ucg.br/index.php/estudos/article/download/2254/1391>
- Goiás. Lei n.º 8.544 de 17 de outubro de 1978. (1978). Goiânia/GO: Dispõe sobre o controle de poluição do meio ambiente. Retrieved from http://www.gabinetecivil.go.gov.br/pagina_leis.php?id=8224
- Goiás. Decreto n.º 1.745, de 06 de dezembro de 1979. (1979). Goiânia/GO: Aprova o regulamento da Lei n.º 8.544, de 17 de outubro de 1978, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.
- Goiás. Lei n.º 14.248, de 29 de julho de 2002. (2002a). Goiânia/GO: Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Retrieved from http://www.gabinetecivil.goias.gov.br/leis_ordinarias/2002/lei_14248.htm
- Goiás. Lei n.º 14.384, de 31 de dezembro de 2002. (2002b). Goiânia/GO: Institui o cadastro técnico estadual de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos naturais, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, a taxa de fiscalização ambiental e dá outras providências. Retrieved from http://www.gabinetecivil.go.gov.br/pagina_leis.php?id=2492
- Governo de Goiás. (2015). Conheça Goiás – Localização. Retrieved October 28, 2016, from <http://www.goias.gov.br/paginas/conhecagoias/localizacao>

- Hannan, M. A., Al Mamun, M. A., Hussain, A., Basri, H., & Begum, R. A. (2015). A review on technologies and their usage in solid waste monitoring and management systems: Issues and challenges. *Waste Management*, 43, 509–523.
<http://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.033>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). Goiás. Retrieved October 4, 2016, from <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?lang=&sigla=go>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2016). Estimativa da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1o de julho de 2015. Retrieved from http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_dou.shtm
- INE – Instituto Nacional de Estatística. (2013). *Anuário Estatístico de Portugal 2012*. Lisboa.
- INE – Instituto Nacional de Estatística. (2014). *Portugal em números 2012*. Lisboa.
- Lavee, D., & Nardiya, S. (2013). A cost evaluation method for transferring municipalities to solid waste source-separated system. *Waste Management*, 33(5), 1064–1072.
<http://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.026>
- Lobo, F., & Silva, M. (2015). Avaliação da Sustentabilidade da Gestão de Resíduos: O Papel da Regulação. In M. A. T. Russo, C. Vilarinho, G. A. Lopes, & N. Caetano (Eds.), *Book of Extended Abstracts of the Congress Challenges on Waste in a Circular Economy: 9.th International Technical Conference on Waste 2015* (pp. 142–151). Lisboa.
- Lucena, T. V., Jucá, J. F. T., Firmo, A. L. B., Brito, E. P. L., Silva, P. C. M., & Jesus, L. L. (2015). Diagnóstico das Diversas Práticas e Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos urbanos no Brasil, Portugal e Japão. In M. A. T. Russo, C. Vilarinho, G. A. Lopes, & N. Caetano (Eds.), *Book of Extended Abstracts of the Congress Challenges on Waste in a Circular Economy: 9.th International Technical Conference on Waste 2015* (pp. 164–168). Lisboa.
- Magrinho, A., Didelet, F., & Semiao, V. (2006). Municipal solid waste disposal in Portugal. *Waste Management*, 26(12), 1477–1489. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.03.009>
- Marques, R. C., & Simões, P. (2008). Does the sunshine regulatory approach work? *Resources, Conservation and Recycling*, 52(8–9), 1040–1049.
<http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.04.002>
- Ministério do Ambiente. Decreto-Lei n.º 362/98, de 18 de novembro. (1998). Aprova o Estatuto do Instituto Regulador de Águas e Resíduos e extingue o Observatório Nacional de Ambiente. Revoga parcialmente o Decreto-Lei n.º 147/95, de 21 de Junho. Retrieved from [http://www.estg.ipg.pt/legislacao_ambiente/ficheiros/DL%25 20362-98.pdf](http://www.estg.ipg.pt/legislacao_ambiente/ficheiros/DL%25%20362-98.pdf)
- Ministério do Ambiente. Decreto-Lei n.º 85/2005, de 28 de abril. (2005). Estabelece o regime legal da incineração e co-incineração de resíduos, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2000/76/EC, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de Dezembro. Retrieved from <https://dre.pt/application/conteudo/532798>
- Ministério do Ambiente. *Plano estratégico para os resíduos urbanos – PERSU II* (1a). (2007). Lisboa: Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e o

- Desenvolvimento Regional. Retrieved from <http://www.egf.pt/files/165.pdf>
- Ministério do Ambiente. Decreto-Lei no 183/2009, de 10 de agosto. (2009a). Diário da República – I Série – A, n. 153, de 10 de agosto de 2009, pp. 5170 – 5198. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Retrieved from <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/493485/details/maximized>
- Ministério do Ambiente. Despacho n.º 21295/2009, de 22 de setembro (2009b). Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Economia e da Inovação. Retrieved from https://apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/Planeamento/PERSU_II/Despacho21295_2009_CDR.pdf
- Ministério do Ambiente. Decreto-Lei n.º 277/2009, de 2 de outubro. (2009c). Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Retrieved from <https://dre.pt/application/file/a/491013>
- Ministério do Ambiente. Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho. (2011). Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Retrieved from https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/DL_73_2011_DQR.pdf
- Ministério do Ambiente. Decreto-Lei n.º 110/2013, de 2 de agosto. (2013). Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território: Procede à alteração (quinta alteração) do Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de dezembro, e transpõe a Diretiva n.º 2013/2/UE, da Comissão, de 7 de fevereiro, que altera o anexo I à Diretiva n.º 94/62/EC, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 20 de dezembro. Retrieved from <https://dre.pt/application/file/498464>
- Ministério do Ambiente. *Plano nacional de gestão de resíduos 2014 – 2020*. (2014a). Retrieved from https://apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/Planeamento/RCM_11-C_2015_Aprova_PNGR.pdf
- Ministério do Ambiente. Portaria n.º 187-A/2014, de 17 de setembro. (2014b). Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia: Aprova o Plano estratégico para os resíduos urbanos - PERSU 2020 (Aprovado pela Portaria n.º 187-A/2014, publicada no D.R. n.º 179 Suplemento, Série I de 2014-09-17). Retrieved from <https://dre.pt/application/file/a/56932777>
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2012). *Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PLANARES*. Brasília/DF. Retrieved from http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657
- PORDATA – Base de dados Portugal Contemporâneo. (2017). População residente: total e por sexo – Portugal, 2017. Retrieved April 12, 2017, from <http://www.pordata.pt/Portugal/Populaçã o+residente+total+e+por+sexo-6>
- Ribeiro, A., Castro, F., Macedo, M., & Carvalho, J. (2011). Waste management in Portugal and Europe: An overview of the past, present and future. In *1St International Conference - Wastes: Solutions, treatments and opportunities*. Guimarães/Portugal. Retrieved from <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/14995>
- SECIMA/GO – Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. (2015). *Nota técnica – aterros sanitários*. Goiânia/GO, Brasil.

- SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás. Instrução normativa n.º 005/2011. (2011). Goiânia/GO: Dispõe sobre o licenciamento ambiental dos projetos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos na modalidade aterro sanitário simplificado, nos municípios do estado de Goiás.
- SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás. Instrução normativa n.º 011/2013, de 12 de dezembro. (2013a). Goiânia/GO: Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental dos projetos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, na modalidade aterro sanitário, nos municípios do estado de Goiás.
- SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás. (2013b). *Plano Estadual de Resíduos Sólidos – diagnóstico preliminar*. Goiânia/GO.
- SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás. Resolução n.º 24/2013 – CEMAm, de 10 de dezembro. (2013c). Goiânia/GO: Dispõe sobre os critérios para a descentralização do licenciamento ambiental, criação da Corte de Conciliação de Descentralização e dá outras providências. Estado de Goiás.
- SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás. Resolução n.º 005/2014 – CEMAm, de 26 de fevereiro. (2014). Goiânia/GO: Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental dos projetos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, na modalidade aterro sanitário, nos municípios do Estado de Goiás.
- SEMMA/Anápolis – Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Anápolis-GO. (2015). Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Anápolis, GO, Brasil.
- Silva, P. F. R. da. (2012). *Resíduos de medicamentos nos RSU: riscos e consequências* (Master's thesis). Universidade Fernando Pessoa.
- Simões, P., & Marques, R. C. (2009). Avaliação do desempenho dos serviços de resíduos urbanos em Portugal. *Engenharia Sanitária Ambiental*, 14(2), 285–294. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/esa/v14n2/a16v14n2>
- Simões, P., Pires, J. S., & Marques, R. C. (2013). Regulação do serviço de resíduos sólidos em Portugal. *Engenharia Sanitária Ambiental*, 18(2), 149–157. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n2/a07v18n2>
- Suzuki, J. A. N., & Gomes, J. (2009). Consórcios intermunicipais para a destinação de RSU em aterros regionais: Estudo prospectivo para os municípios no Estado do Paraná. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 14(2), 155–158. <http://doi.org/10.1590/S1413-41522009000200002>
- Trotta, P. (2011). A gestão de resíduos sólidos urbanos em Portugal. In *VII Congresso Nacional De Excelência Em Gestão*. Rio de Janeiro. Retrieved from http://www.excelenciaemgestao.org/portals/2/documents/cneg7/anais/t11_0350_2173.pdf
- Vazquez, R., & Cabeças, A. J. (2015). Valorização dos resíduos. Tratamento mecânico, biológico e preparação de CDR a partir de RU. In M. A. T. Russo, C. Vilarinho, G. A. Lopes, & N. Caetano (Eds.), *Book of Extended Abstracts of the Congress Challenges on Waste in a Circular Economy: 9.th International Technical Conference on Waste 2015* (pp. 34–40). Lisboa.

SECÇÃO D – Delineando a proposta para o modelo de gestão dos RU em Goiás

Na Secção D estão apresentados quatro estudos que serviram de suporte para a definição dos futuros sistemas de gestão de resíduos urbanos (SGRU) propostos para os municípios do Estado de Goiás: no primeiro estudo foram identificadas as áreas livres ou restritas para a construção de sistemas de deposição final de resíduos urbanos (RU). De modo que, a partir do primeiro estudo, foram identificados os possíveis locais para a instalação de futuros SGRU, apontando quais municípios irão partilhar cada sistema de gestão. Os SGRU propostos para Goiás foram apresentados em outros dois estudos, sendo um em que se apresenta a localização dos SGRU propostos para todo o Estado de Goiás e o outro em que são apresentados os municípios goianos da microrregião do *Entorno do Distrito Federal* que irão partilhar cada um dos futuros SGRU propostos. No quarto estudo desta secção foi realizada uma avaliação do ciclo de vida (ACV) para os RU, em que foram identificados os principais modelos de gestão utilizados para estes resíduos no Brasil, que foram comparados com cenários de modelos de gestão de RU utilizados no mundo. Este estudo teve um carácter de revisão bibliográfica, afim de apontar as principais tecnologias de tratamento de RU utilizadas no mundo, e que possam vir a ser utilizadas em municípios do Brasil, dentre eles, os municípios do Estado de Goiás. As informações apresentadas nesta secção foram adaptadas das seguintes publicações:

Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. de. (2017). Definição dos municípios-sede dos sistemas de gestão de resíduos urbanos no Estado de Goiás, Brasil. In *10th International Technical Waste Conference*. Porto, Portugal: APESB – Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., Matos, M. A. A. de, & Santos, K. A. dos. (2018). Use of a geographic information system to find areas for locating of municipal solid waste management facilities. *Waste Management*, (77), 500–515. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.036>

Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., Matos, M. A. de, & Santos, K. A. (2017). Proposal for MSW management facilities location in a state of Brazil. In M. de L. L. Cândida Vilarinho, Fernando Castro (Ed.), *WASTES - Solutions, Treatments and Opportunities II* (pp. 105–111). London, UK: Taylor & Francis Group.

Lima, P. D. M., Colvero, D. A., Gomes, A. P., Wenzel, H., Schalch, V., & Cimpanb, C. (2018). Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil. *Waste Management*, (78), 857–870.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.007>

7. Utilização de um sistema de informação geográfica na identificação de áreas para a instalação de sistemas de gestão de resíduos urbanos

Resumo: O Estado de Goiás, Brasil, apresenta uma situação preocupante quanto à gestão dos seus resíduos urbanos (RU). Dos 246 municípios do Estado, apenas 16 enviam seus resíduos para aterros licenciados. Isso significa que 93% dos municípios goianos estão a fazer uma inadequada deposição final dos seus RU. Este cenário coloca em risco o ambiente e a saúde pública. Diante desta situação, o objetivo do presente estudo foi fazer o levantamento das áreas livres para a instalação de aterros nos municípios de Goiás. Simultaneamente, foram identificados os aterros e lixeiras de Goiás, e analisado se estes sistemas estão, de acordo com a legislação, situados em áreas com restrições para a instalação de sistemas de deposição final de RU. Para esta análise utilizou-se uma ferramenta de sistema de informação geográfica, relacionando aspectos morfológicos, uso e ocupação do solo, a preservação do ambiente e da saúde pública e a projeção populacional para 2040, para definir as áreas livres de restrições para a instalação de aterros. Os resultados mostram que em 2040, Goiás terá 59 500 km², o equivalente a 17% da área total do Estado, livre para a instalação de aterros. Em contrapartida, 60% da área do Estado estará classificada como restrita para a construção de aterros. A situação mais preocupante é na região *Metropolitana de Goiânia*, que produzirá cerca de 44% das 6 850 t·dia⁻¹ de RU que serão gerados em 2040 no Estado. Sendo que a *Metropolitana de Goiânia* será a região com menos áreas livres de restrições para a instalação de aterros (832 km²). Além disso, foram identificados em Goiás 235 sistemas de deposição final de RU. Sendo 15 aterros licenciados, 23 aterros não licenciados e 197 lixeiras. Destes sistemas, 15 situam-se em áreas livres, 38 em áreas sujeitas a aprovação e 182 em áreas restritas. Estes números evidenciam a necessidade dos municípios goianos em encerrar e/ou readequar aterros e lixeiras não licenciados, assim como estabelecer novos sistemas de gestão dos RU que considerem os requisitos legais e ambientais e para o crescimento populacional.

Palavras-Chave: Resíduos urbanos; aterros; SIG; áreas restritas; Goiás; países em desenvolvimento.

7.1. Introdução

Desde a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, através da Lei n.º 12305/2010, instalou-se no Brasil um debate mais intenso acerca da gestão adequada dos resíduos urbanos (RU). Sendo que um dos problemas enfrentados pelos municípios brasileiros é a falta de infraestruturas, nomeadamente aterros, equipamentos necessários para a deposição final ambientalmente adequada dos refugos, independentemente dos sistemas de tratamento de RU (Gbanie, Tengbe, Momoh, Medo, & Kabba, 2013).

Além disso, ano após ano a produção de RU tem aumentado no Brasil, situação que é reflexo do estilo de consumo da vida urbana, e que provoca graves danos ambientais em termos globais (Hannan, Al Mamun, Hussain, Basri, & Begum, 2015; Lavee & Nardiya, 2013). Somente no ano de 2014 foram geradas no Brasil cerca de 78,6 milhões de toneladas de RU, o que equivale a um crescimento de 3% em comparação a 2013. Entretanto, apesar dos avanços a nível mundial da reciclagem, reutilização e redução, assim como tecnologias como a compostagem e a incineração, o país continua a utilizar a deposição final em aterros como principal alternativa para eliminar os RU. Tanto através de aterros licenciados, sistemas que cumprem aos requisitos legais e de engenharia (destino de 58% dos RU produzidos no Brasil), quanto em aterros não licenciados ou lixeiras, que são sistemas que não cumprem com os aspetos técnicos definidos para a deposição final de RU (ABNT, 1992; ABRELPE, 2015; Abreu, Gandolfo, & Vilar, 2016; Brasil, 2010).

De acordo com Mannarino, Ferreira, & Gandolla (2016), a forma de restringir o aumento de RU no Brasil passa por levar a população e a indústria (nomeadamente os produtores de embalagens) a assumir a responsabilidade pela produção destes resíduos. Também deve-se incumbir os municípios brasileiros pela gestão integrada dos RU, pois estes são os titulares dos serviços de gestão dos resíduos sólidos. Por outro lado, os fabricantes, importadores, comerciantes e a população tem a responsabilidade partilhada pelo ciclo de vida dos produtos (Brasil, 2010; Goiás, 2002).

Um dos Estados que retratam o panorama da má gestão dos RU no Brasil é Goiás. De acordo com a Secretaria do Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos – SECIMA/GO, dos 246 municípios do Estado, há apenas 15 municípios com aterros licenciados, o que reflete a forma não ambientalmente adequada da atual gestão RU (SECIMA/GO, 2015). Estes aterros recebem os RU de 16 municípios goianos, pois o município de Cidade Ocidental partilha seu sistema de deposição final de

RU com Valparaíso de Goiás, município vizinho ao detentor do aterro (Colvero, Gomes, & Pfeiffer, 2015). Os demais municípios goianos enviam seus RU para aterros não licenciados e lixeiras.

Para mudar este panorama, Goiás precisa definir estratégias de gestão para os RU que avaliem os aspectos técnicos, econômicos e legislativos, assim como evite danos à saúde humana e ao ambiente (Feo & Malvano, 2009; Guerrero, Maas, & Hogland, 2013; Soltani, Hewage, Reza, & Sadiq, 2015). Tendo em vista que os sistemas integrados de gestão de RU necessitam de um processo de deposição final dos rejeitos dos sistemas de tratamento, deve-se buscar áreas apropriadas para a instalação de aterros (Cherubini, Bargigli, & Ulgiati, 2009).

Assim, o objetivo deste estudo foi identificar as áreas livres de restrições para a instalação de aterros nos municípios de Goiás. Para além, foi identificado se os aterros e lixeiras existentes em Goiás estão situados em áreas apropriadas. Este mapeamento da localização dos sistemas de deposição final dos RU é necessário, principalmente para os casos das lixeiras e dos aterros não licenciados pela SECIMA/GO, sistemas que podem contaminar o solo e os recursos hídricos, assim como colocar em risco a saúde humana (Barros, Days, & Araújo, 2015; Malakahmad, Abualqumboz, Kutty, & Abunama, 2017).

Esta análise se justifica pelo baixo número de municípios goianos com aterro licenciado para enviar os rejeitos de seus RU, o que evidencia que há necessidade em se identificar possíveis áreas para a instalação de outros aterros em Goiás. Além disso, a identificação das áreas não restritas para a instalação de aterros em todo o Estado de Goiás buscou apresentar uma visão macroscópica da situação atual das áreas do Estado para a deposição final de RU. De modo que este estudo serve de suporte para outras avaliações que irão propor futuros sistemas de gestão de RU para os municípios goianos, auxiliando assim aos tomadores de decisão de Goiás na definição das medidas a serem estabelecidas para alterar o panorama da gestão dos RU no Estado. Perspetiva-se que futuramente Goiás seja coberto por sistemas de gestão de RU que englobem diferentes tecnologias de tratamento, que visem a valorização material, orgânica e energética.

A identificação dos atuais sistemas de deposição final existentes em Goiás mostra que o intuito deste estudo é ir além da identificação de locais não restritos para a instalação de aterros nos municípios goianos. Há aqui consonância com o planejamento urbano ambiental de um município, que deve buscar alternativas adequadas para a realidade

urbana dos municípios, assim como deve atuar na prevenção de passivos ambientais, quer seja pela deposição irregular de RU ou pela instalação de futuros sistemas que estejam em desacordo com a legislação e que prejudiquem o ambiente (Colvero, Oliveira, Hora, & Pfeiffer, 2015). Para isso, os tomadores de decisão devem priorizar a sustentabilidade socioambiental, de modo que os municípios se desenvolvam sem que haja colapso dos recursos naturais ou exclusão de parte da população (Grazia, Queiroz, Mota, & Santos, 2001).

7.2. *Materiais e métodos*

Neste estudo foram identificadas as áreas livres, sujeitas a aprovação ou com restrições para a instalação de sistemas de deposição final de RU em Goiás, nomeadamente os aterros. Para isso, foram utilizados documentos legais brasileiros que estabelecem parâmetros para as áreas disponíveis para a construção de aterros (Gorsevski, Donevska, Mitrovski, & Frizado, 2012). Diretrizes estas que são as distâncias mínimas que estes sistemas devem ter para áreas que tem determinado uso ou ocupação do solo, tal como comunidades específicas, áreas de preservação ambiental, cursos de água, aeródromos, entre outros, assim como as quantidades crescentes de resíduos produzidos pelos municípios (Gorsevski et al., 2012).

As áreas livres são aquelas em que não há impeditivos dos documentos legais para serem instalados sistemas de deposição final de RU. As áreas sujeitas a aprovação são aquelas que dependem da autorização do órgão de controlo ambiental (OCA) brasileiro para que sejam instalados sistemas de deposição final desses resíduos. Já as áreas restritas são aquelas em que há algum impeditivo legal no Brasil para a construção de aterros ou quaisquer outros sistemas de deposição final de RU. Ressalta-se que a instalação de aterros ou demais sistemas de gestão de RU só poderão ocorrer após a autorização do OCA, ou seja, as áreas identificadas neste estudo não substituem a obrigatoriedade da licença do órgão competente para a construção de qualquer tipo de sistema. Além disso, a autorização para a instalação de aterros em determinada área implica ainda numa avaliação local de outros tipos de restrições, como uso do solo, hidrologia subterrânea, malha viária, atividades socioeconómicas.

7.2.1. Área de abrangência do estudo

O Estado de Goiás está situado na região Centro-Oeste do Brasil. Possui uma área de cerca de 340 mil km², o equivalente a 4% do território do país, sendo o sétimo maior

Estado brasileiro em extensão territorial. Faz fronteira com os seguintes estados: ao Norte com o Tocantins, a leste com a Bahia e Minas Gerais, a oeste com o Mato Grosso e ao Sul com Minas Gerais e Mato Grosso do Sul (IBGE, 2016; IMB, 2014).

Em 2015, Goiás tinha uma população estimada em 6 610 681 habitantes, distribuídos em 246 municípios (IBGE, 2016), o que corresponde a uma densidade populacional de 19,4 habitantes·km⁻². O Estado é dividido em 10 regiões de planejamento (Figura 7-1), uma delimitação estratégica que visa priorizar os investimentos do governo goiano de acordo com as necessidades socioeconômicas de cada região (IMB, 2014).

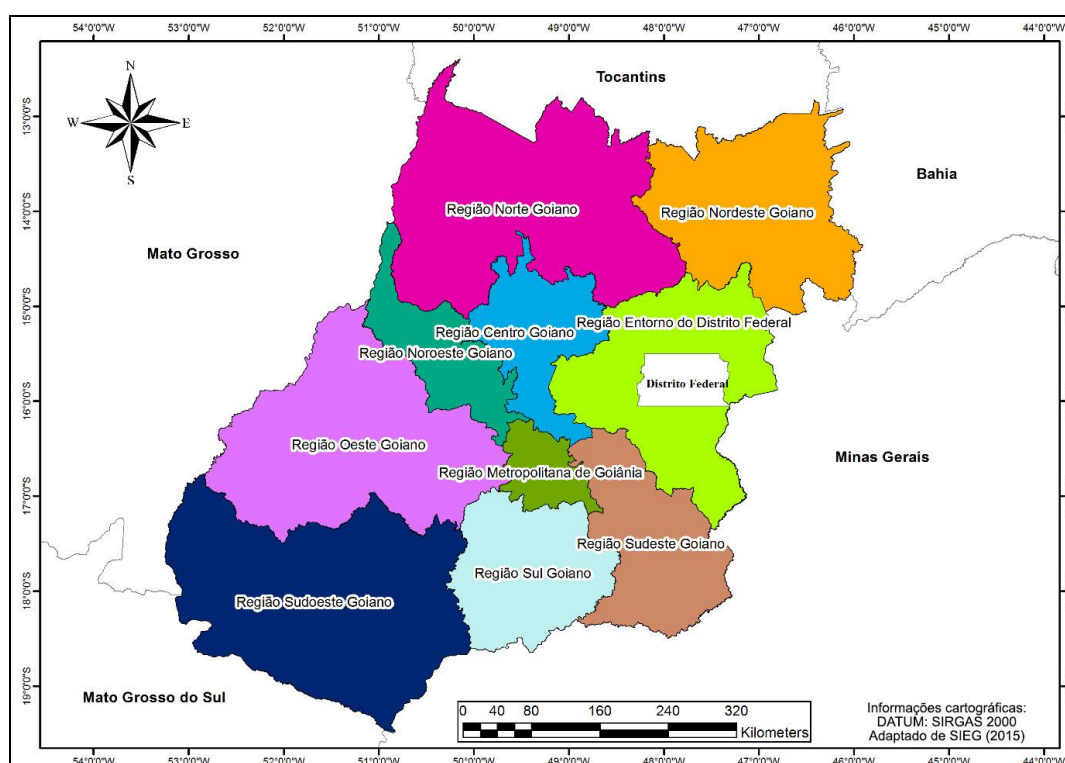


Figura 7-1: Regiões de planejamento do Estado de Goiás.

7.2.2. Identificação das áreas livres e restritas para a instalação de aterros em Goiás

Para fazer uma seleção preliminar das áreas livres ou com restrições para a implantação de aterros em todo o Estado de Goiás, cinco documentos legais do Brasil serviram de referência para definir quais os aspectos geográficos e ambientais devem ser respeitados para a instalação de aterros. Assim, a partir destes documentos legais definiram-se os aspectos restritivos (e sujeitos a aprovação do OCA) para a instalação de aterros, conforme são apresentados na Tabela 7-1.

A Resolução CEMAm n.º 05/2014 define os aspectos técnicos para a instalação de aterros em Goiás (SEMARH/GO, 2014). Sendo que este documento, além de definir

algumas restrições, remete à outras normas e leis a definição de parâmetros adicionais que também devem ser respeitados. É o caso das distâncias dos aterros para as Unidades de Conservação (UC), que a Resolução CEMAm n.º 05/2014 define que se deve atender o recomendado pela Resolução CONAMA n.º 428/2010. De modo que este documento do CONAMA estabelece que as distâncias dos aterros para as UC devem ser de 3 km (CONAMA, 2010). As UC são uma porção do território nacional e seus recursos ambientais que, por possuírem características especiais, tem aplicadas garantias de proteção com o objetivo de conservar e garantir limites definidos, estando sob regime especial de administração. A distância mínima entre um aterro e um aeródromo é outro parâmetro que a Resolução CEMAm define que se deve atender ao estabelecido em outro documento, neste caso a Lei n.º 12725/2012. Sendo que, de acordo com esta lei (Brasil, 2012), deve haver uma distância mínima de 20 km de raio entre os aeródromos e atividades potencialmente atrativas de fauna (caso das lixeiras e aterros de RU).

Tabela 7-1: Critérios restritivos (e sujeitos a aprovação) para a instalação de aterros em Goiás.

Critério	Valores restritivos para a instalação de aterros	Documentos legais
Distância do perímetro urbano	Mínimo 3 km	Resolução CEMAm n.º 05/2014
Declividade do terreno	Menor que 1% e maior que 20%	NBR ABNT n.º 13896/1997 e Resolução CEMAm n.º 05/2014
Distância de corpos hídricos superficiais	Mínimo 0,3 km de quaisquer corpos hídricos Mínimo 0,5 km de corpos hídricos utilizados para abastecimento Mínimo 2,5 km do ponto de captação para abastecimento público	Resolução CEMAm n.º 05/2014
Distância de unidades de conservação	Mínimo 3 km a partir do limite da unidade de conservação (distância sujeita a aprovação)	Resolução CONAMA n.º 428/2010 e Resolução CEMAm n.º 05/2014
Distância de aeródromos	Mínimo 20 km (distância sujeita a aprovação)	Lei Federal n.º 12725/2012
Presença de vegetação nativa remanescente	Preferencialmente deve se situar fora de reserva legal e em local que, de preferência, não haja a necessidade de desmatar	Resolução CEMAm n.º 05/2014
Terras quilombolas e terras indígenas	Mínimo 8 km (distância sujeita a aprovação)	Portaria Interministerial n.º 60/2015, do Ministério do Meio Ambiente

Fonte: Adaptado de ABNT (1997), Brasil (2012), CONAMA (2010), MMA (2015) e SEMARH/GO (2014).

Também se deve incluir às restrições as terras quilombolas e as terras indígenas (que são áreas ocupadas por remanescentes dessas comunidades), que podem impossibilitar a construção de aterros em grandes áreas (Tavares & Carissimi, 2012). O licenciamento ambiental de um empreendimento potencialmente poluidor e que pode degradar o ambiente (como é o caso de um aterro) deve obedecer a uma distância mínima de 8 km para áreas em que vivam esses povos (MMA, 2015).

Como referem Ferreira & Ferreira (2014), o mapeamento das áreas disponíveis para a construção de aterros deve ser elaborado a partir dos aspectos ambientais e de critérios de distâncias. Os cinco documentos legais referidos no texto e na Tabela 7-1 são os seguintes:

- Lei Federal n.º 12725/2012, de 16 de outubro: relativa ao controlo da fauna nas proximidades de aeródromos (Brasil, 2012);
- Resolução n.º 05/2014 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMAm), de 14 de março: referente aos procedimentos acerca do licenciamento ambiental dos projetos de deposição final de RU, na modalidade aterro, nos municípios goianos (SEMARH/GO, 2014);
- Resolução n.º 428/2010 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 17 de dezembro: estabelece, no âmbito do licenciamento ambiental acerca da autorização do órgão responsável por administrar a UC (Brasil, 2000), assim como sobre a ciência do órgão responsável por administrar a UC nos casos de licenciamento ambiental de sistemas não sujeitos a um Estudo de Impacto Ambiental – EIA, assim como um Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, e dá outras providências (CONAMA, 2010);
- Portaria Interministerial n.º 60/2015, do Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA), de 24 de março: institui condutas administrativas que orientam a forma de atuação das entidades e órgãos da administração pública brasileira em processos de licenciamento ambiental que são da responsabilidade do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA (MMA, 2015);
- NBR n.º 13896/1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), de 30 de junho: estabelece os critérios para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos (ABNT, 1997).

Além das restrições legais, foram consideradas as projeções populacionais para todos os municípios goianos em 2040, conforme estudo de Colvero, Gomes, Tarelho, & Matos (2017). Definiu-se este ano porque a PNRS estabelece o seu plano para um horizonte

temporal de 20 anos (Brasil, 2010). Assim, se a partir de 2019 todos os trâmites necessários para a construção de aterros (e outros sistemas de gestão de Goiás) forem definidos, de modo que estes sistemas comecem a operar ao final de 2020/início de 2021, a população no fim da vida útil do aterro será a de 2040. Essa informação foi importante para estimar as áreas urbanas que ocuparão o território do Estado em 2040 e, a partir destas configurações espaciais, definir os *buffers* das distâncias a serem respeitadas entre o perímetro urbano e os aterros. Sendo que *buffer* é o recurso que cria uma zona ao entorno da fronteira em relação à distância ou percentagem predefinida (ESRI, 2017).

O *buffer* foi útil neste estudo para a análise de proximidade e zonas de influência. Com o recurso *buffer* criaram-se faixas de segurança com as distâncias estabelecidas na Tabela 7-1. Para fazer as projeções das expansões das áreas urbanas utilizou-se o Dinâmica EGO, uma ferramenta entendida como um sistema de dinâmica espacial, em que o estado de uma célula em um segundo momento, dentro de um arranjo espacial, decorre do seu estado atual e da condição das células da vizinhança, conforme um conjunto de regras de transição determinado (Fearnside et al., 2009). De acordo com Soares-Filho, Rodrigues, & Costa (2009), o Dinâmica EGO é um ambiente de modelação que utiliza a combinação algébrica de dados em inúmeros formatos, como matrizes, *raster*, tabelas e mapas. Esta ferramenta utiliza uma série de algoritmos espaciais complexos que permite ao utilizador criar, analisar e executar modelos de simulação de transformações no tempo e no espaço, tal como as alterações de cobertura, ocupação e uso da terra em uma determinada área (Leitão, Ferreira, Rodrigues, & Soares-Filho, 2013; Macedo, Almeida, Santos, & Rudorff, 2013; Soares-Filho et al., 2009).

Com o *buffer* da população estimada para 2040 (obtido no Dinâmica EGO) criou-se um *buffer* de 3 km de distância sobre esta projeção populacional. Este *buffer* representa a faixa de restrição dos aterros para os perímetros urbanos. Esta informação fez-se necessária porque a distância para o perímetro urbano é um dos critérios a considerar na instalação de um aterro.

Assim, a partir das restrições estabelecidas nos documentos legais, utilizou-se um sistema de informação geográfica (SIG) para identificar as áreas adequadas para se instalar um aterro, tal como nos estudos de Chang, Parvathinathan, & Breeden (2008), Gorsevski et al. (2012), Kontos, Komilis, & Halvadakis (2005), Ferreira & Ferreira (2014), Marques (2011), NURSOL/UFG (2015) e Pinheiro et al. (2015). O SIG é uma sofisticada tecnologia espacial, em que são recolhidos, armazenados, geridos, integrados, manipulados e

analisados dados geoespaciais ou geograficamente referenciados (Chiueh Lo, & Chang, 2008; Hannan et al., 2015).

Sendo que neste artigo a ferramenta SIG utilizada foi o *ArcGIS* versão 10.3.1. Os arquivos vetoriais (*shapefiles*) que representam geograficamente os critérios utilizados na elaboração dos mapas com as áreas livres, sujeitas a aprovação e restritas para a instalação de aterros no Estado foram obtidos no banco de dados do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás – SIEG (2015). De modo que os critérios empregados foram: perímetro urbano, corpos hídricos superficiais, unidades de conservação, localização dos aeródromos, reservas legais, terras indígenas e terras quilombolas, além do arquivo matricial (*raster*) do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) que representa a declividade do terreno, e que foi obtida da base de dados do INPE (2011). Sobre estes critérios foram aplicados os valores de restrição conforme a Tabela 7-1. Os mapas foram produzidos em coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), na projeção *SIRGAS 2000*, e o fluxograma de trabalho é apresentado na Figura 7-2 utilizando os seguintes passos:

- *Buffer*: usado neste estudo para análise de proximidade e zonas de influência. As zonas de segurança do *buffer* foram criadas com as distâncias indicadas na Tabela 7-1;
- *Merge*: calcula uma união geométrica dos recursos de entrada, combinando vários conjuntos de dados de entrada do mesmo tipo de dados em um único conjunto de dados de saída. Esta ferramenta pode combinar classes ou tabelas de características de ponto, linha ou polígono (ESRI, 2017). Com o recurso *Merge* foi possível criar um único arquivo com as áreas de restrição para todo o Estado de Goiás;
- *Intersect*: calcula uma interseção geométrica dos recursos de entrada unindo uma região onde dois planos se cruzam (ESRI, 2017). Através desse recurso foi possível recortar o arquivo gerado no passo anterior pelas feições que representam as 10 regiões administrativas do estado de Goiás;
- *Symmetrical Difference*: realiza o recorte das áreas de feições que não se sobrepõem (ESRI, 2017). Com este recurso foi possível extrair a diferença entre a feição que representa as áreas restritas e a feição da delimitação do Estado de Goiás, criando assim uma nova feição com a área que não se sobrepõe. Essa área representa as áreas livres para a instalação de aterros;

- *Area*: calcula os valores de área para feição no formato de polígono do recurso selecionado (ESRI, 2017). Com este recurso se obteve os valores percentuais e em km das áreas restritas, sujeitas a aprovação e livres para instalação de aterro para as 10 regiões administrativas de Goiás. Sendo que estes valores são intrínsecos do arquivo vetorial final, e seus valores podem ser consultados na sua respectiva tabela de atributos. Em outras palavras, não há uma fórmula para determinar as áreas livres ou restritas para a instalação de aterros, e sim um conjunto de passos que apresentam os resultados na tabela de atributos de cada feição. Em um ambiente SIG os arquivos já estão vinculados geograficamente, sendo que o valor de área é uma propriedade inerente dos *shapefiles*.

As áreas livres, sujeitas a aprovação e restritas para a instalação de aterros serão apresentadas junto com as estimativas dos quantitativos de RU produzidos em Goiás em 2015 e em 2040 (Tabela 7-2). Sendo que as projeções dos quantitativos de RU que serão gerados em Goiás em 2040 foram obtidos em estudo de Colvero, Gomes, Tarelho et al. (2017). Com as projeções das produções de RU, pode-se definir em estudos futuros as áreas necessárias para a instalação de aterros.

Na Figura 7-2 está apresentado o diagrama das fases de elaboração do mapa das áreas disponíveis para instalação de aterros nos municípios de Goiás.

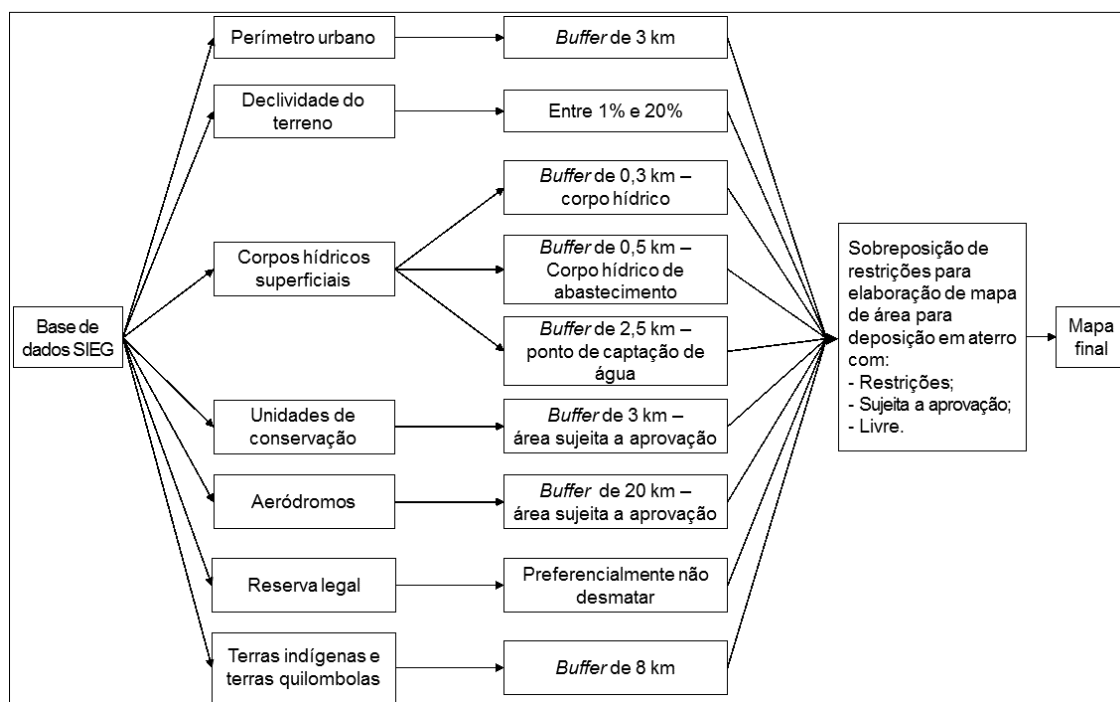


Figura 7-2: Diagrama das fases de elaboração do mapa das áreas disponíveis para instalação de aterros em Goiás.

7.2.3. Levantamento das coordenadas geográficas dos aterros e lixeiras de Goiás

Para além da identificação das áreas disponíveis para a construção de aterros, realizou-se um levantamento da localização geográfica dos aterros (licenciados e não licenciados) e das lixeiras (não licenciadas) existentes atualmente em Goiás (de modo a identificar se estes sistemas estão situados em áreas livres, sujeitas a aprovação ou restritas). As informações acerca das coordenadas geográficas dos sistemas de deposição final de RU do Estado foram obtidas a partir do cruzamento entre os *shapefiles* do SIEG (2015) e análise de dados primários oriundos de um questionário encaminhado pela SECIMA/GO aos municípios goianos em 2012 e 2013. Além disso, foram utilizadas as coordenadas geográficas dos aterros e lixeiras identificados no estudo de Freitas (2015).

A análise realizada neste estudo, feita no ambiente SIG, pode ser replicada para outros municípios brasileiros e do exterior que tenham esta necessidade. Para isso, deve-se conhecer os requisitos legais para a instalação de sistemas de deposição final de RU do local a ser estudado, assim como ser calculada a projeção populacional para a vida útil de um sistema de gestão que se deseja implantar. Para além disso, faz-se necessário ter as coordenadas geográficas de todos os aterros e lixeiras existentes no local a ser avaliado.

7.3. Resultados e discussão

7.3.1. Áreas restritas, sujeitas a aprovação ou livres para a instalação de aterros

Para a elaboração do mapa que engloba todos os aspetos restritivos para a implantação de aterros em Goiás, utilizaram-se nove diferentes parâmetros (apresentados na Tabela 7-1) que foram divididos em cinco mapas, conforme apresentados nas Figuras 7-3 a 7-7.

Na Figura 7-3 está apresentado o mapa com os atuais 235 aterros e lixeiras identificados no Estado e as distâncias de 3 km para os perímetros urbanos em 2010 e em 2040. Verificam-se lixeiras e aterros dentro das faixas de segurança dos *buffers* de distâncias entre a área urbana e estes sistemas. Um exemplo é a região *Metropolitana de Goiânia (MGyn)*, que possui sistemas de deposição final de RU não licenciados dentro dos *buffers* de segurança da área urbana de 2010, ou seja, além de serem uma fonte de poluição ambiental estão a colocar em perigo a saúde das populações residentes em áreas vizinhas a estes sistemas (Malakahmad et al., 2017). Além disso, existem *catadores* (indivíduos que trabalham a apanhar materiais potencialmente recicláveis) que trabalham frequentemente

nesses inadequados sistemas de deposição final, o que é outro motivo pelo qual as lixeiras e aterros não licenciados devem ser encerrados e ter suas áreas recuperadas (Ritter, Ferreira, Porto, & Lima, 2010). Assim como em estudos de Gorsevski et al. (2012), Ferreira & Ferreira (2014) e Marques (2011) que avaliaram aspectos legais como as distâncias dos futuros sistemas de deposição final de RU para os corpos hídricos, aeródromos, áreas de preservação, entre outros, um diferencial deste estudo é a análise das distâncias mínimas permitidas entre os aterros e o perímetro urbano. Estas distâncias, representadas nos mapas das Figuras 7-3 a 7-8 pelos *buffers* das áreas urbanas foram determinadas utilizando-se a projeção populacional para 2040. O objetivo de se utilizar o *buffer* da população estimada para 2040 é garantir que os futuros sistemas de gestão de RU que serão instalados em Goiás estejam em áreas não restritas durante todo o horizonte de projeto. Situação que poderia não ser verdadeira se os *buffers* das distâncias mínimas dos aterros para o perímetro urbano fossem obtidos a partir da população goiana em 2010 (ano do último censo demográfico oficial no Brasil). Entretanto, caso a situação da gestão dos RU de Goiás não se altere, em 2040 haverá um maior número de habitantes com a saúde em perigo por residirem nas proximidades de aterros não licenciados e lixeiras (Figura 7-3).

Destaca-se ainda que, diferentemente dos estudos de Gorsevski et al. (2012) e Marques (2011), uma das inovações deste artigo é a área de abrangência, pois identificaram-se as áreas livres para a instalação de aterros em um Estado que tem uma extensão territorial similar à Finlândia (Eurostat, 2018).

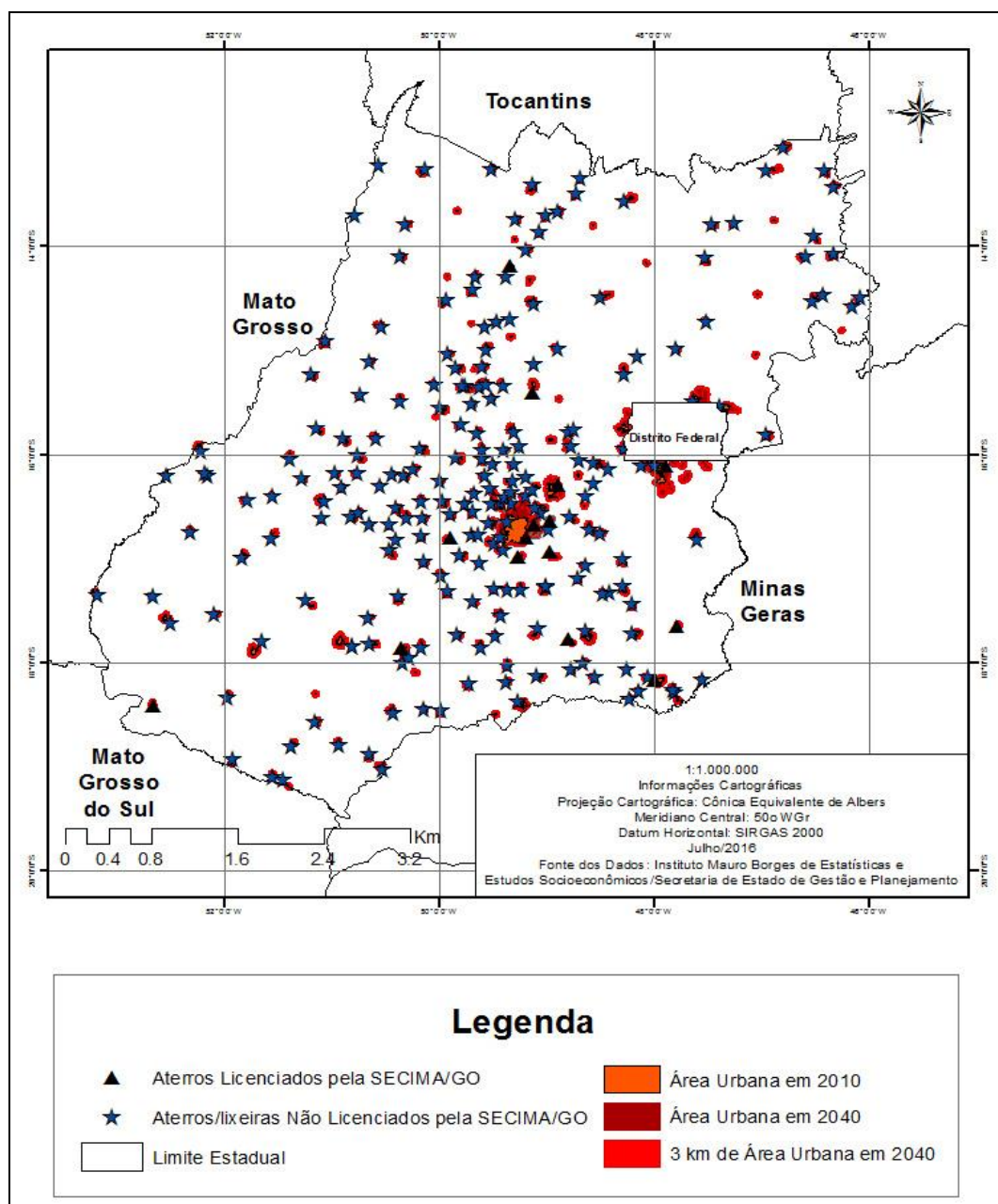


Figura 7-3: Mapa de restrições das áreas urbanas de Goiás em 2010 e 2040, e atuais aterros e lixeiras em Goiás.

O segundo parâmetro é o apresentado na Figura 7-4, em que os sistemas de deposição final de RU de Goiás estão vinculados à declividade do terreno, que deve ser superior a 1% e inferior a 20% (para ser área não restrita).

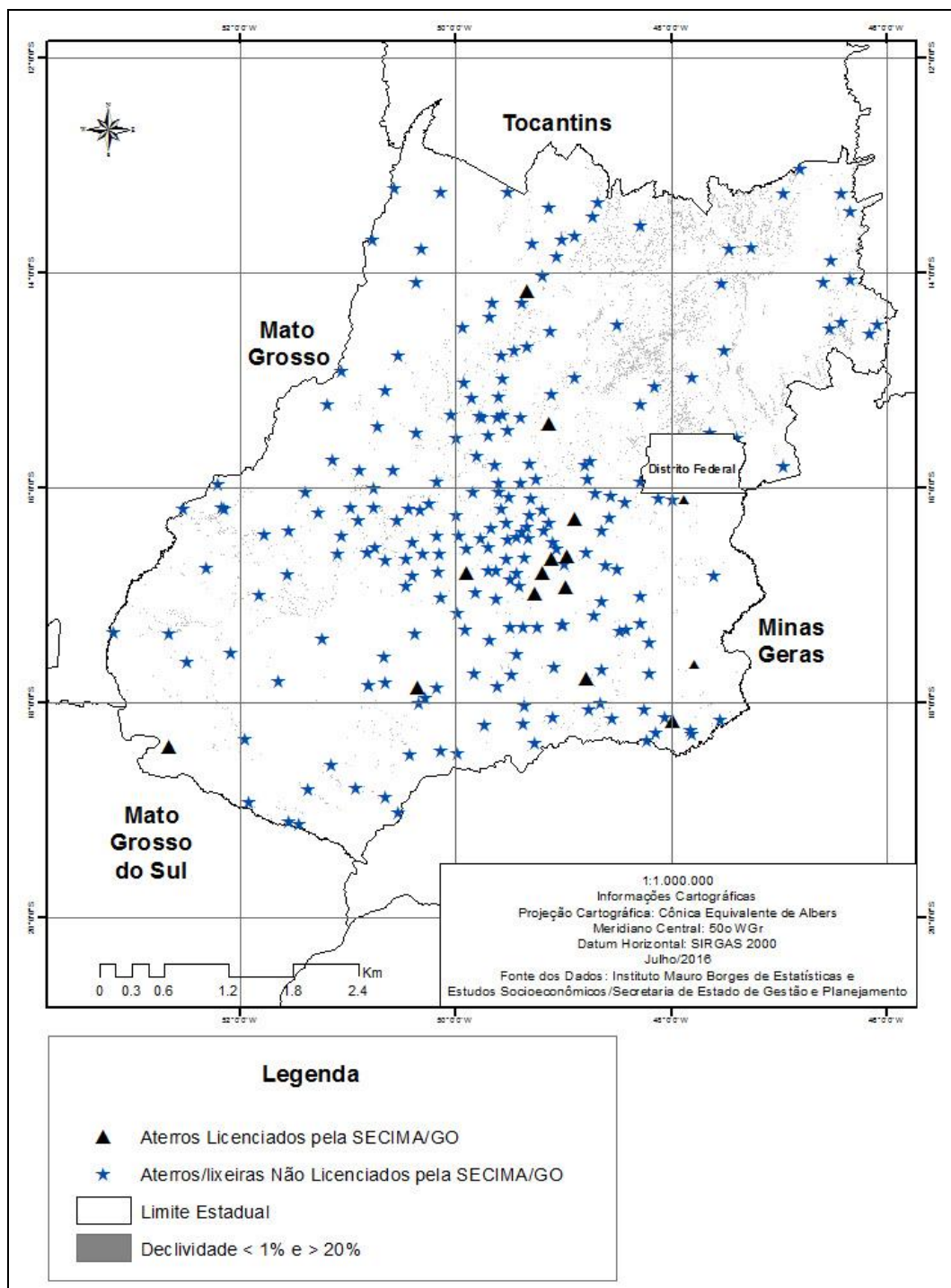


Figura 7-4: Mapa de restrições quanto à declividade do terreno, e atuais aterros e lixeiras em Goiás.

Já na Figura 7-5 estão apresentados os atuais aterros e lixeiras com três parâmetros, que se referem às distâncias para os corpos hídricos superficiais, valores que variam de 0,3 km a 2,5 km, dependendo do tipo de corpo de água. Ishii, Furuichi, & Nagao (2013) apontam que os resíduos despejados em instalações não licenciadas podem causar sérias contaminações nas águas superficiais e subterrâneas e no solo.

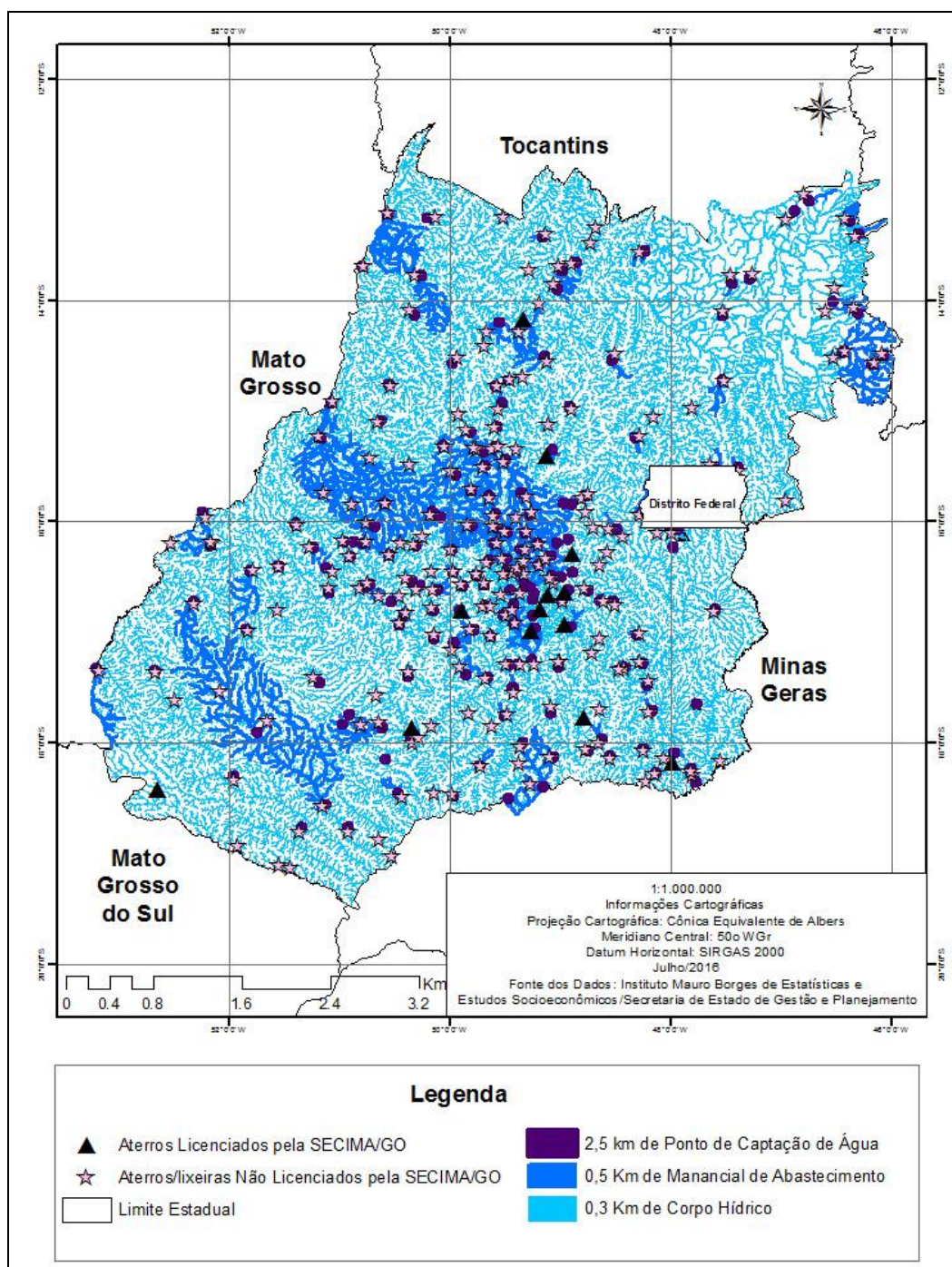


Figura 7-5: Mapa de restrições dos cursos de água, e atuais aterros e lixeiras em Goiás.

No quarto mapa (Figura 7-6) estão apresentados os atuais aterros e lixeiras juntamente com três diferentes parâmetros: UC, terras quilombolas e terras indígenas. No Estado de Goiás existe deposição final inadequada dentro de Unidades de Conservação de Proteção Integral e em Unidades de Conservação de Proteção Sustentável (caso das regiões *Nordeste Goiano*, *Noroeste Goiano* e *Entorno do Distrito Federal – EDF*).

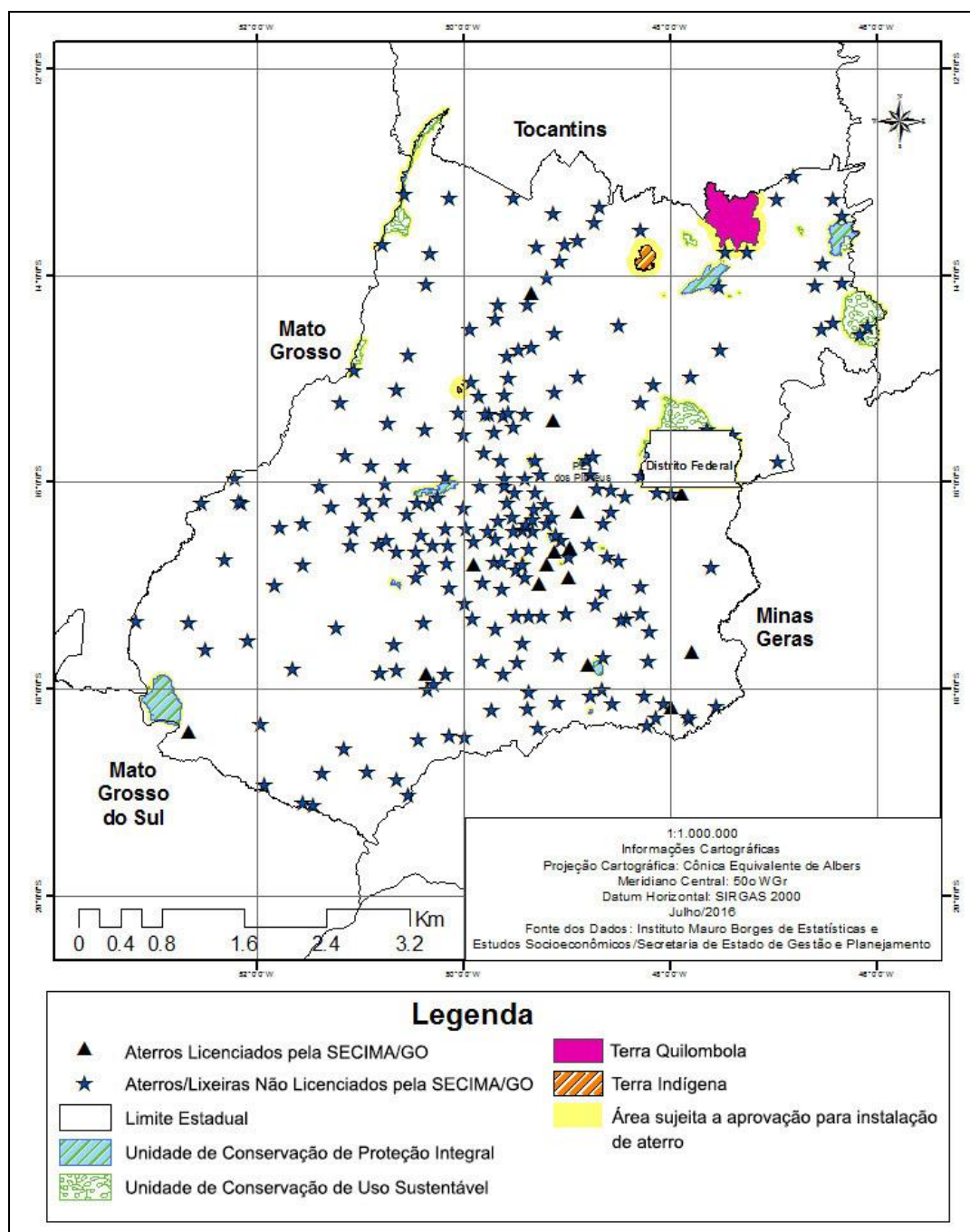


Figura 7-6: Mapa de restrições quanto às UC, terras quilombolas e terras indígenas, e atuais aterros e lixeiras em Goiás.

No quinto mapa (Figura 7-7) estão apresentados os atuais aterros e lixeiras juntamente com os aeródromos. Ao todo, foram identificados 236 aeródromos que tornam algumas áreas de Goiás sujeitas a aprovação (do OCA) para a instalação de aterros. Sendo que 202 aeródromos estão localizados no próprio Estado e os demais nos Estados vizinhos.

A presença de aves, que são atraídas pelos RU existentes nos sistemas de deposição final, podem ameaçar a segurança aeroportuária e causar acidentes aéreos (Mota, 2011).

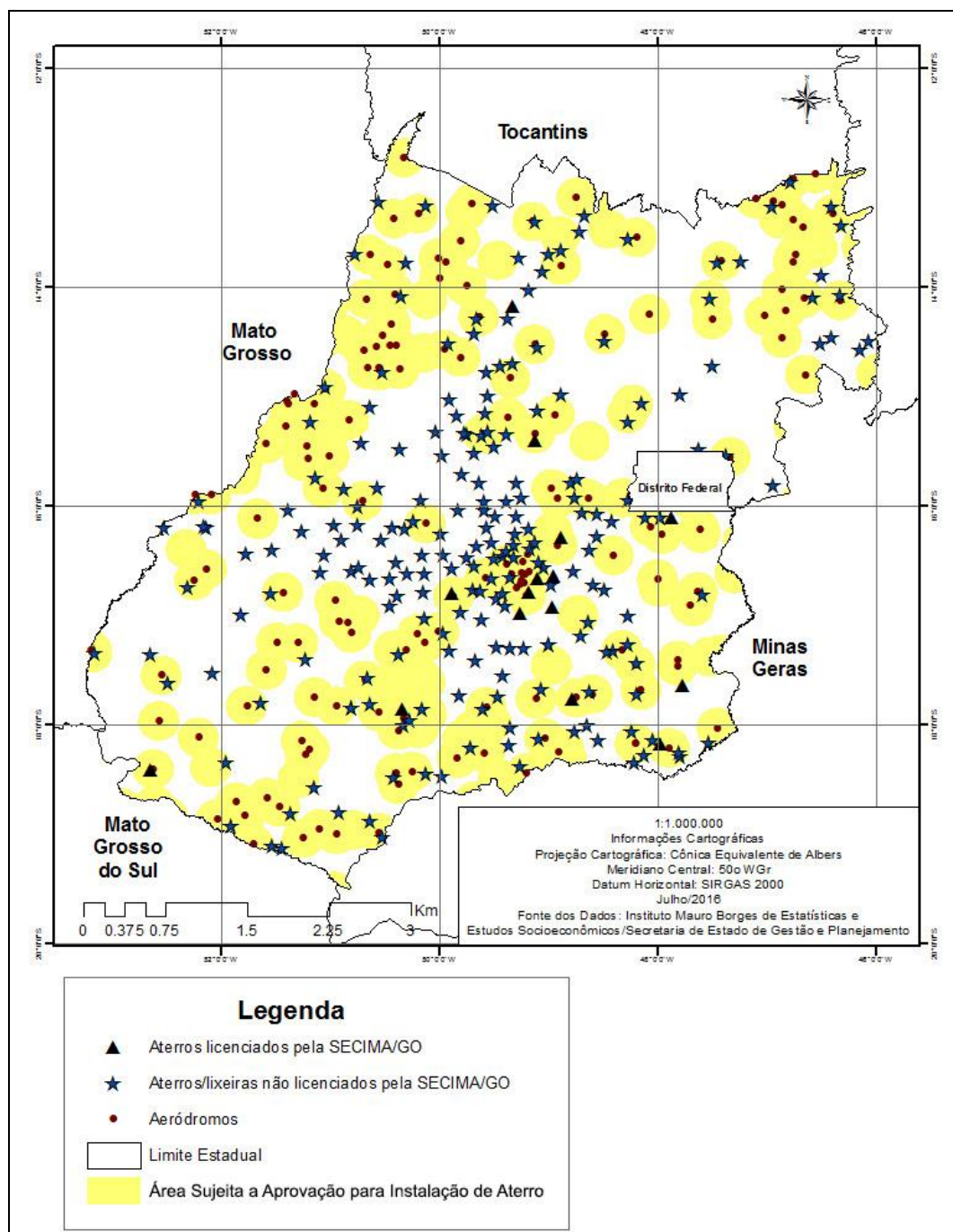


Figura 7-7: Mapa de restrição quanto aos aeródromos, e atuais aterros e lixeiras em Goiás.

Assim, com o cruzamento das informações contidas nos mapas das Figuras 7-3 a 7-7, obteve-se o mapa de todo o Estado, conforme apresentado na Figura 7-8. As áreas destacadas em verde são as áreas livres para a instalação de futuros aterros, enquanto que

em amarelo são as áreas sujeitas a aprovação para a instalação destes sistemas de deposição final de RU. As demais áreas são restritas para a implantação de aterros em Goiás. Além disso, neste mapa estão todos os atuais aterros e lixeiras de Goiás.

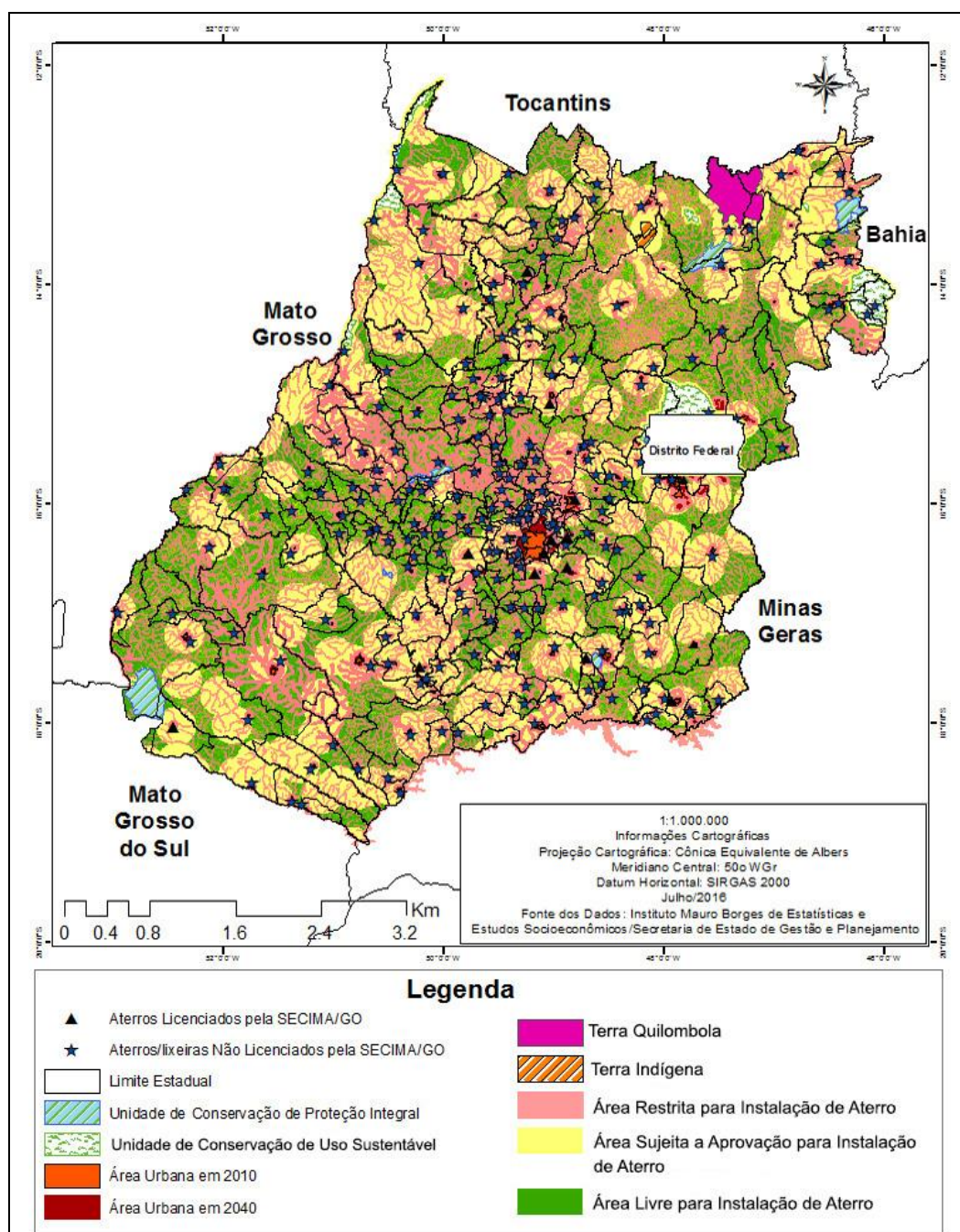


Figura 7-8: Áreas restritas, sujeitas a aprovação ou livres para instalação de aterros em Goiás.

Outra avaliação importante refere-se aos quantitativos de RU produzidos e as áreas disponíveis para a instalação de aterros, pois a produção crescente destes resíduos também

interfere na seleção de áreas adequadas para instalação de aterros (Gorsevski et al., 2012). De acordo com estimativas, em 2015 os goianos produziram entre cerca 5 000 t·dia⁻¹ de RU. Sendo que em 2040, com uma população estimada em mais de 8,7 milhões de habitantes (Colvero, Gomes, Tarelho et al., 2017), há a previsão de uma geração de 6 850 t·dia⁻¹ de RU, um crescimento percentual de 38% em comparação a 2015 (Colvero, Gomes, Tarelho et al., 2017).

Na Tabela 7-2 estão apresentadas as projeções das produções de RU em 2015 e em 2040 nas regiões de planejamento de Goiás, assim como as áreas que serão restritas, sujeitas a aprovação ou livres para a instalação de aterros. As regiões *Sudoeste Goiano*, *Norte Goiano* e *Oeste Goiano* possuem, juntas, mais de 50% de toda a extensão territorial de Goiás. Entretanto, é na região *MGyn*, que possui apenas 2% da área total de Goiás, que em 2040 será produzida a maior parte dos RU do Estado. Já a região que menos produz (e produzirá) RU é a *Noroeste Goiano*, sendo que esta região é a que possui a segunda menor área dentre as 10 regiões de planejamento do Estado, o que significa menores deslocamentos para o transporte de RU (em comparação as outras regiões administrativas). Por outro lado, podem ocorrer problemas maiores quanto à gestão do transporte de RU nas regiões *Norte Goiano* e *Nordeste Goiano*. Em extensão territorial, estas regiões são a 2^a e 4^a maiores áreas de Goiás. Enquanto que, em termos de geração, são a 3^a e 2^a menores produtoras de RU. Isso significa maiores deslocamentos para se transportar os RU.

A partir dos passos descritos no item 7.2.2 deste estudo, obteve-se que em 2040 Goiás haverá cerca de 59 500 km² de área livre para a instalação de aterros (o equivalente à 17% da área total do Estado). Outros 23% serão de áreas sujeitas a aprovação e os demais 60% de áreas restritas para a instalação de aterros, conforme apresentado na Tabela 7-2. Isso evidencia que apesar de haver o senso comum que os Estados brasileiros possuem grandes áreas para a construção de aterros, na realidade os espaços livres de restrições para a instalação destes sistemas exigem um rigoroso planejamento.

O *Sudoeste Goiano* e o *Norte Goiano* serão (em 2040) as duas regiões com maiores áreas disponíveis para a construção de novos aterros. Ambas as regiões possuem territórios com tamanhos similares, e em torno de 17,5% da área total (mais de 10 000 km²) disponível para a instalação de aterros. Entretanto, mesmo nestas duas regiões há municípios sem áreas livres para a construção de aterros. No *Sudoeste Goiano* são cinco municípios – Acreúna, Aparecida do Rio Doce, Maurilândia, São Simão e Turvelândia –

sem área livre, principalmente devido a existência de aeródromos. Enquanto que no *Norte Goiano*, o município de Campos Verdes não possui áreas livres (também pelo facto de haver aeródromos). Ressalta-se que nos casos dos municípios com áreas sujeitas a aprovação para a instalação de aterros, faz-se necessária a autorização do OCA para que sejam construídos aterros no local.

Tabela 7-2: Produção de RU em 2015 e 2040 e áreas com restrições, sujeitas a aprovação e livres para instalação e operação de aterro, por região de planejamento de Goiás em 2040.

Região de planejamento	Estimativas da produção de RU (t-dia ⁻¹) – adaptado de Colvero, Gomes, Tarelho et al. (2017)		Área restrita para aterro		Área sujeita a aprovação para aterro		Área livre para aterro	
	Ano de 2015	Ano de 2040						
			km ²	%	km ²	%	km ²	%
<i>Norte Goiano</i>	184	230	33 048	55,5	16 183	27,2	10 334	17,3
<i>Nordeste Goiano</i>	99	133	25 023	60,4	11 423	27,6	4 948	12,0
<i>Noroeste Goiano</i>	83	105	11 233	72,3	2 056	13,2	2 252	14,5
<i>Centro Goiano</i>	488	622	12 942	67,7	3 186	16,7	2 994	15,6
<i>EDF</i>	843	1 031	21 557	60,0	5 703	15,9	8 663	24,1
<i>Oeste Goiano</i>	190	252	35 238	66,9	9 094	17,2	8 359	15,9
<i>MGyn</i>	2 230	3 036	5 800	79,3	681	9,3	832	11,4
<i>Sudeste Goiano</i>	164	258	13 280	52,7	5 412	21,5	6 502	25,8
<i>Sudoeste Goiano</i>	416	846	32 279	53,2	17 710	29,1	10 724	17,7
<i>Sul Goiano</i>	270	336	14 345	57,0	6 919	27,5	3 905	15,5
Total	4 967	6 849	204 745	59,8	78 367	22,9	59 513	17,3

Além dos aeródromos, há outros motivos que acabam por definir áreas não livres para a instalação de aterros. Na região *MGyn*, menor região de planejamento em termos de área de Goiás, o aglomerado populacional será ainda maior do que em 2015. Como consequência, existirá menos área livre para a instalação de aterros – 832 km² – o menor espaço disponível para aterros dentre todas as regiões de planejamento. Dos 20 municípios da região *MGyn*, 10 não possuem áreas livres para a instalação de aterros: Abadia de Goiás, Aparecida de Goiânia, Goianápolis, Goiânia, Goianira, Nerópolis, Santo Antônio de Goiás, Senador Canedo, Terezópolis de Goiás e Trindade. Nestes municípios, há apenas área sujeita a aprovação ou restrita para a instalação de aterros. Situação que decorre, principalmente, da ocupação territorial urbana e dos aeródromos. Além de ter poucas áreas não restritas para a instalação de aterros, a região *MGyn* produz mais de 44% do total de RU do Estado de Goiás. Já no *Nordeste Goiano*, os municípios de Damianópolis e Mambaí, por estarem situados dentro de Unidade de Conservação de Uso Sustentável, só possuem áreas restritas

para aterros. Após análise dos aspectos legais que restringem ou tornam as áreas dos municípios sujeitas a aprovação do OCA para a instalação de aterros, foi possível obter as áreas livres para a instalação de aterros, conforme apresentado em verde na Figura 7-9.

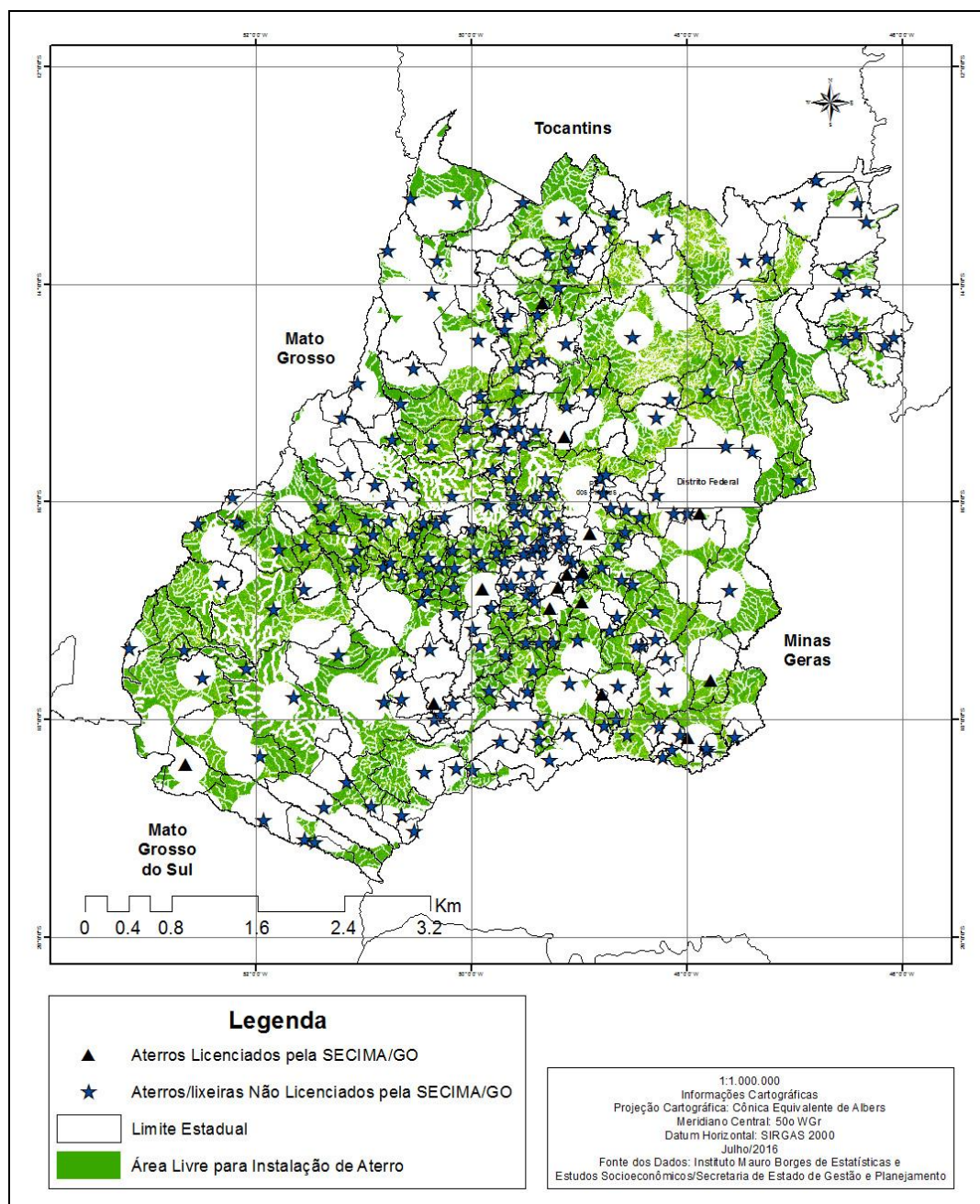


Figura 7-9: Mapa de áreas livres de restrições para instalação de aterros em Goiás, em 2040.

Os mapas com as áreas restritas, sujeitas a aprovação ou livres para a instalação de sistemas de deposição final de RU, por região de planejamento, assim como as estimativas das produções de RU, estão apresentadas Tabelas B.1-1 a B.1-10 e nas Figuras B.1-1 a

B.1-10, do Anexo B.1. Já as coordenadas geográficas, assim como o tipo de deposição final de RU e a área em que estes sistemas estão situados (área restrita, sujeita a aprovação ou livre para a instalação de aterros) estão apresentadas nas Tabelas B.2-1 a B.2-6 do Anexo B.2.

7.3.2. Aterros e lixeiras de Goiás e as áreas de restrição

Neste estudo fez-se ainda a associação dos documentos legais com a ferramenta SIG para identificar a área que estão situados os aterros licenciados e não licenciados de Goiás. A partir dos *shapefiles* do SIEG (2015) e dos questionários enviados aos municípios goianos foi obtida a localização geográfica dos 15 aterros licenciados pela SECIMA/GO (Tabelas B.2-1 a B.2-3 do Anexo B.2). Também foram identificados outros 220 sistemas de destino final não licenciados, sendo 23 aterros e 197 lixeiras (Tabelas B.2-4 a B.2-6 do Anexo B.2). Assim, entre sistemas licenciados e não licenciados, obteve-se a informação de 235 aterros/lixeiros em Goiás. Sistemas distribuídos nas 10 regiões de planejamento, conforme apresentado na Figura 7-10.

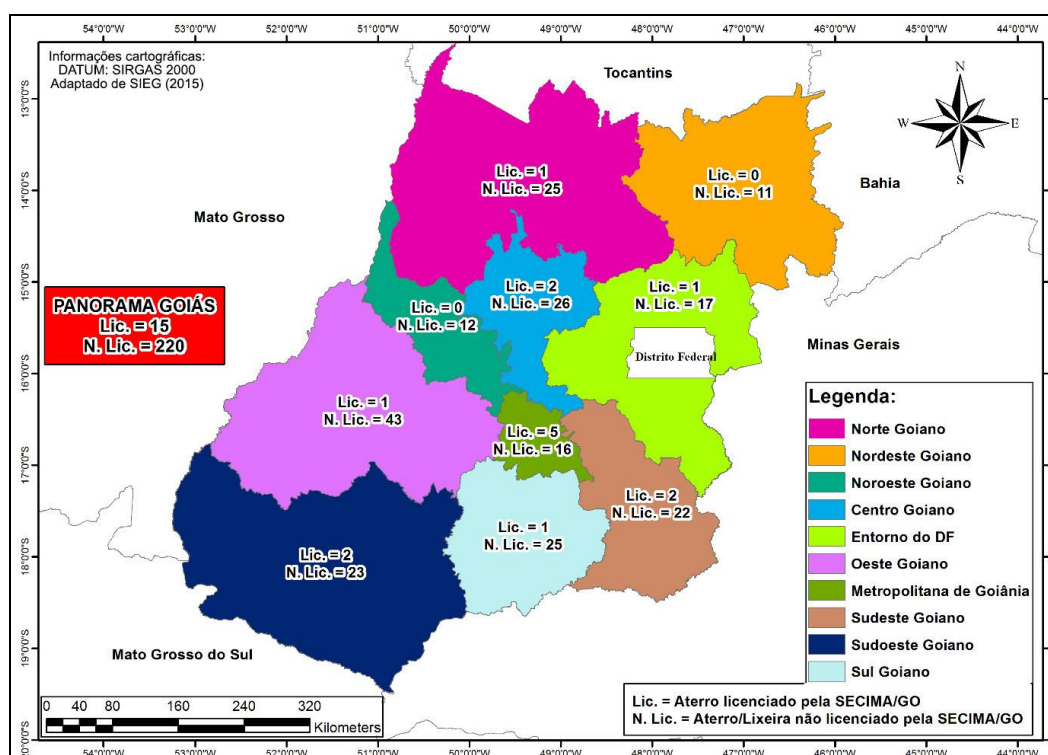


Figura 7-10: Mapa da deposição final de resíduos urbanos no Estado de Goiás.

A região *MGyn* é a que possui maior número de aterros licenciados pela SECIMA/GO (cinco). Enquanto que o *Nordeste Goiano* e o *Noroeste Goiano* só possuem

sistemas de deposição final de RU não licenciados. Entretanto, dos 15 aterros licenciados, 10 estão situados em áreas com restrições para a instalação de aterros. Dos demais aterros licenciados, quatro estão em áreas sujeitas a aprovação e apenas um (aterro de Bela Vista de Goiás, na região *MGyn*) está em local livre para a instalação de aterros. Em suma, 67% dos aterros licenciados estão situados em áreas impróprias. Na região *MGyn*, que há o maior número de aterros com autorização de operação, quatro dos cinco aterros licenciados estão localizados em áreas restritas para este tipo de sistema (Tabela 7-3).

Cabe destacar que as áreas sujeitas a aprovação são aquelas que dependem da autorização do OCA para que sejam instalados aterros. De acordo com os documentos legais, a instalação de aterros a distâncias menores de 3 km para as UC, 20 km para os aeródromos e de 8 km para as terras quilombolas e terras indígenas, dependem da anuência do OCA (Brasil, 2012; CONAMA, 2010). Sendo que o licenciamento de aterros em áreas que afetam as UC só poderá ser concedido pelo OCA após um EIA-RIMA e com a permissão do órgão que administra a UC (Brasil, 2012). Assim como, desde que não se apresentem como foco atrativo de animais no raio da Área de Segurança Aeroportuária (ASA), e nem comprometam a segurança operacional da aviação, as distâncias mínimas entre aterros e aeródromos podem ser revistas e autorizadas pelo OCA (Brasil, 2012). Já a distância mínima de 8 km de empreendimentos potencialmente poluidores para as terras quilombolas e terras indígenas, só poderão ser alterados em casos excepcionais. Para isso ocorrer, deve haver uma justificativa e o consentimento do IBAMA (MMA, 2015).

Tabela 7-3: Quantitativo de aterros licenciados pela SECIMA/GO, por região de planejamento, em áreas com restrições, sujeitas a aprovação e livres para instalação e operação de aterro.

Região	N.º de Municípios	Número de aterros em áreas com restrições	Número de aterros em áreas sujeitas a aprovação	Número de aterros em áreas livres
<i>Norte Goiano</i>	26	1	0	0
<i>Nordeste Goiano</i>	20	0	0	0
<i>Noroeste Goiano</i>	13	0	0	0
<i>Centro Goiano</i>	31	1	1	0
<i>EDF</i>	19	0	1	0
<i>Oeste Goiano</i>	43	1	0	0
<i>MGyn</i>	20	4	0	1
<i>Sudeste Goiano</i>	22	2	0	0
<i>Sudoeste Goiano</i>	26	1	1	0
<i>Sul Goiano</i>	26	0	1	0
Total	246	10	4	1

Conforme referido por Pinheiro et al. (2015), a maioria das deposições de RU de Goiás estão a operar sem quaisquer monitoramentos e de forma irregular. Cenário que vai ao encontro do identificado neste estudo, que aponta haver em Goiás 220 aterros e lixeiras não licenciados pela SECIMA/GO. Sistemas distribuídos em 208 municípios, pois há 12 municípios que possuem dois aterros/lixeriras não licenciados para a deposição final de RU. Destes municípios que possuem dois aterros/lixeriras não licenciados, seis tem os dois sistemas em área restrita (Bom Jardim de Goiás, Cocalzinho de Goiás, Mairipotaba, Piracanjuba, São Miguel do Araguaia e Trindade) e um (Rio Verde) tem os dois sistemas em áreas sujeitas a aprovação. Outros quatro municípios (Corumbá de Goiás, Hidrolina, Nova Crixás e Porteirão) possuem um sistema de deposição de RU em área restrita e outro em área sujeita a aprovação. Enquanto que Alexânia tem uma lixeira em área sujeita a aprovação e outra lixeira em área livre para instalação de aterro.

Dos aterros/lixeriras não licenciados, 78% (172 aterros e lixeiras) estão em áreas que a legislação impede a instalação e operação de aterros. Sendo que dos demais 22% (48 aterros e lixeiras), 34 estão situados em áreas que para se instalar aterro há a necessidade de anuência do OCA, e apenas 14 estão em áreas livres para aterros (Tabela 7-4).

Tabela 7-4: Quantitativo de aterros e lixeiras não licenciados pela SECIMA/GO, por região de planejamento, em áreas com restrições, sujeitas a aprovação e livres para instalação e operação de aterro.

Região	N.º de Municípios	Número de aterros/lixeriras em áreas com restrições	Número de aterros/lixeriras em áreas sujeitas a aprovação	Número de aterros/lixeriras em áreas livres
<i>Norte Goiano</i>	26	21	4	0
<i>Nordeste Goiano</i>	20	10	0	1
<i>Noroeste Goiano</i>	13	10	0	2
<i>Centro Goiano</i>	31	19	5	2
<i>EDF</i>	19	11	4	2
<i>Oeste Goiano</i>	43	39	4	0
<i>MGyn</i>	20	10	4	2
<i>Sudeste Goiano</i>	22	19	1	2
<i>Sudoeste Goiano</i>	26	14	7	2
<i>Sul Goiano</i>	26	19	5	1
Total	246	172	34	14

Do total dos sistemas de deposição final de RU de Goiás (licenciados e não licenciados) somente 15 situam-se em áreas livres para a instalação de aterros. Sendo que

38 estão em áreas sujeitas a aprovação e 182 estão situados em áreas restritas, ou seja, não pode haver qualquer tipo de aterro, sejam estes licenciados ou não.

Considerando-se que 75,9% dos RU produzidos em 2015 em Goiás não foram recolhidos ou foram destinados para sistemas de deposição final de RU não licenciados (Colvero, Gomes, Tarelho et al., 2017), são cerca de 3 770 t.dia⁻¹ de RU que tiveram deposição final inadequada em Goiás. Tendo em vista que uma tonelada de RU depositado em um sistema de deposição final de RU produz 0,188 m³ de lixiviado (Malakahmad et al., 2017), são centenas de metros cúbicos deste líquido que estão a percolar e contaminar diariamente as águas e os solos goianos. Como a produção de RU estimada para 2040 é cerca de 38% superior a 2015, a situação será ainda mais alarmante se o cenário da gestão dos RU em Goiás permanecer inalterado. Além disso, há o gás de aterro (LFG), oriundo da decomposição biológica aeróbia e anaeróbia dos resíduos orgânicos presentes nos RU (Malakahmad et al., 2017). Este LFG possui entre 45-60% de CH₄ e entre 40-60% de CO₂ (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1993), dois dos principais gases causadores do efeito de estufa (Piñas, Venturini, Lora, Oliveira, & Roalcaba, 2016). Além desses problemas, todos os LFG têm hidrocarbonetos saturados e insaturados, hidrocarbonetos aromáticos, hidrocarbonetos ácidos e álcoois orgânicos, compostos de enxofre, compostos halogenados, como mercaptanos e dissulfetos de carbono e compostos inorgânicos. Componentes que causam irritação das mucosas, *stress* psicológico, e que a longo prazo podem provocar reações tóxicas e cancro em animais e seres humanos (Ying et al., 2012).

Além das questões ambientais, o tratamento adequado dos RU goianos pode trazer também benefícios financeiros, assim como se tornarem fontes de combustível para eventuais necessidades energéticas (Malakahmad, et al., 2017). Outra vantagem económica é que a medida que maiores quantitativos de RU são tratados e depositados em sistemas de gestão adequados em detrimento à deposição final inadequada, reduzem-se os custos da gestão destes resíduos (Ichinose & Yamamoto, 2011).

Há também o aspeto social, pois há pessoas que residem em áreas vizinhas ou trabalham nas lixeiras e nos aterros não licenciados nos municípios goianos. Fragilidade social que fica evidenciada por Nascimento, Silva, & Costa (2010), que mencionam que as pessoas que residem/trabalham nestas áreas de instabilidade ambiental são cidadãos excluídos do mercado formal. É o caso, por exemplo, do antigo aterro não licenciado de Anápolis, Goiás, que possuía *catadores* a separar materiais recicláveis no local. Situação

que só foi alterada com a readequação do aterro e a realocação dos *catadores* para uma central de triagem, o que minimizou os riscos relacionados ao trabalho realizado por estas pessoas (Colvero & Souza, 2016). Isto evidencia a perspectiva social deste estudo, pois a medida que as lixeiras forem encerradas no Estado de Goiás, os *catadores* de materiais recicláveis que estão a trabalhar nestes locais insalubres, passarão a trabalhar, por exemplo, nos centros de triagem, conforme estabelecido na Lei n.º 12305 (Brasil, 2010).

Além de apontar áreas não restritas para a instalação de aterro, este estudo estabelece uma estratégia para a gestão dos RU nos municípios goianos, e como tal é um dos motores que dará origem à criação de um sistema integrado de gestão dos RU em Goiás. Isto porque à medida que forem implantados estes sistemas para tratar dos RU, a preocupação com a saúde, emprego e renda para os *catadores* estará resolvida. A definição das áreas disponíveis para a construção de aterros é um importante passo para a elaboração de um plano estratégico que irá definir sistemas de gestão de RU, preferencialmente partilhados, para os municípios goianos. Sistemas que deverão estar o mais próximo aos centros produtores de RU, para que se minimizem os custos com o transporte destes resíduos. Ressalta-se ainda que os sistemas de gestão propostos devem estar concebidos para que sejam garantidos os desvios dos materiais recicláveis e dos biorresíduos, de modo a priorizar a hierarquia de gestão dos resíduos (EC, 2008).

Diante da situação dos RU em Goiás, é fundamental que os municípios goianos, além de criarem um plano estratégico para a gestão destes resíduos (Colvero, Gomes, Matos, & Nunes, 2017), planeiem o encerramento dos aterros e lixeiras não licenciados.

7.4. *Considerações finais*

Em 2040, serão produzidos em Goiás 38% a mais de RU do que foi gerado em 2015. Esta situação é alarmante, tendo em vista que com a expansão urbana serão menos áreas disponíveis para a instalação de aterros. Sistemas que são fundamentais na rota tecnológica dos RU, pois devem receber os refugos provenientes das tecnologias que tratam destes resíduos.

Dentre as regiões de planejamento do Estado, a *MGyn* apresenta um cenário que merece atenção. Isso porque em 2040, esta região, que possui 2% da área total de Goiás, será responsável por 44% de todo o RU produzido no Estado. Sendo que haverá apenas 11% da extensão territorial desta região livre para a instalação de aterros.

Quanto aos sistemas de deposição final de RU, em Goiás foram identificados 235 aterros e lixeiras. Dentre os quais somente 6,4% são licenciados pela SECIMA/GO. Ao todo, cerca de 76% de todo o RU produzido no Estado é destinado inadequadamente para aterros e lixeiras não licenciados ou, o que é pior, não é recolhido e acaba por ser despejado em vias públicas, rios, terrenos baldios.

Quanto às áreas em que estão situadas as lixeiras e os aterros licenciados ou não licenciados em Goiás, 78% (182 ao todo) localizam-se em áreas restritas para a deposição final de RU. Isso quer dizer que são sistemas que não deveriam existir, pois não estão a cumprir com a legislação e, conseqüentemente, prejudicando o ambiente e a saúde pública. Nesta situação estão 10 aterros que, mesmo licenciados pela SECIMA/GO, situam-se em locais inapropriados.

Dentre os demais aterros e lixeiras, 38 estão em áreas sujeitas a aprovação. Sendo que destes, quatro são aterros licenciados. Os outros 15 aterros e lixeiras (6% do total) estão em áreas livres para a implantação destes sistemas. Destes, há somente um aterro licenciado, o do município de Bela Vista de Goiás.

Vale destacar que o Estado, além de instalar novos aterros para receber os refugos produzidos, tem um caminho difícil a percorrer. Primeiro porque são 220 aterros e lixeiras a serem encerrados e/ou readequados. Segundo porque 172 destes sistemas possuem maior urgência, pois estão em áreas restritas para a instalação e operação de aterro, o que está por maximizar os riscos à saúde pública e ao ambiente.

Por fim, salienta-se que a indicação das possíveis áreas para a instalação de aterros, já prevendo o crescimento populacional para 2040, demonstra a preocupação deste estudo com o planejamento urbano e ocupação do território nos municípios goianos. De modo que toda a análise apresentada pode ser replicada por municípios de outros Estados brasileiros ou de países que apresentem um cenário similar para seus RU, o que auxiliará os tomadores de decisão a estabelecer estratégias para a gestão destes resíduos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Brasil. O 1º autor, Diogo Appel Colvero, é investigador do CNPq, Processo n.º 207172/2014-5.

Os autores agradecem também à Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos – SECIMA/GO.

Referências bibliográficas

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR 8.419: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997). NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2015). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014. São Paulo. Retrieved from <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>
- Abreu, A. E. S., Gandolfo, O. C. B., & Vilar, O. M. (2016). Characterizing a Brazilian sanitary landfill using geophysical seismic techniques. *Waste Management*, 53, 116–127. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.048>
- Barros, R. G., Days, P. P., & Araújo, V. K. A. (2015). Investigação de passivo ambiental na área do aterro sanitário de Hidrolândia, GO. *Revista Eletrônica Em Gestão Educação E Tecnologia Ambiental*, 19(3), 73–82. doi.org/10.105902/2236117018948
- Brasil. Lei n.º 9.985, de 18 de julho. (2000). Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm
- Brasil. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. (2010). Brasília, DF: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm
- Brasil. Lei n.º 12.725, de 16 de outubro. (2012). Brasília, DF, Brasil: Dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12725.htm
- Chang, N.-B., Parvathinathan, G., & Breeden, J. B. (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 139–153. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.011>
- Cherubini, F., Bargigli, S., & Ulgiati, S. (2009). Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, 34(12), 2116–2123. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2008.08.023>
- Chiueh, P. T., Lo, S. L., & Chang, C. L. (2008). A GIS-based system for allocating municipal solid waste incinerator compensatory fund. *Waste Management*, 28(12), 2690–2701. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.01.006>
- Colvero, D. A., & Souza, S. M. de. (2016). Avaliação de riscos ocupacionais aos catadores de materiais recicláveis: estudo de caso no município de Anápolis, Goiás, Brasil. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 12(26), 161–177. <https://doi.org/10.3895/rts.v12n26.4518>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., & Pfeiffer, S. C. (2015). Análise dos custos das rotas tecnológicas dos resíduos sólidos urbanos de Cidade Ocidental, Goiás. *Sodebrás*, 10(117), 196–204. Retrieved from <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N117.pdf>

- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. (2017). Municipal solid waste in Goiás (Brazil): current scenario and projections for the future. *Journal of Sedimentary Environments*, 2(3), 236–249. <https://doi.org/10.12957/jse.2017.31131>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P., Matos, M. A. de, & Nunes, M. I. (2017). A gestão dos resíduos sólidos urbanos e a legislação: uma análise do caso de Portugal e as contribuições para o estado de Goiás, Brasil. *Sodebrás*, 12(139), 148–157. Retrieved from: <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N139.pdf>
- Colvero, D. A., Oliveira, A. D., Hora, K. E. R., & Pfeiffer, S. C. (2015). Desafios da gestão urbana na seleção de áreas para a implantação de aterros sanitários: um olhar sobre o município de Goiânia, Brasil. In M. A. T. Russo, C. Vilarinho, G. A. Lopes, & N. Caetano (Eds.), *Book of Extended Abstracts of the Congress Challenges on Waste in a Circular Economy: 9.th International Technical Conference on Waste 2015* (pp. 175–187).
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no 428/2010, de 17 de dezembro. (2010). Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC). Retrieved from <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=641>.
- EC – European Commission. (2008). *European Parliament and Council. Directive 2008/98/EC of 22 november 2008 on waste and repealing certain Directives*. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=PT>
- ESRI – Environmental Systems Research Institute (2017). ArcGIS Pro tool reference. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. Retrieved from <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/main/arcgis-pro-tool-reference.htm>
- Eurostat – Gabinete de Estatísticas da União Europeia. (2018). Eurostat celebrates Finland [WWW Document]. Eurostat - your key to Eur. Stat. URL <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/EDN-20171206-1?inheritRedirect=true> (accessed 1.24.18).
- Fearnside, P. M., Graça, P. M. L. A., Keizer, E. W. H., Maldonado, F. D., Barbosa, R. I., & Nogueira, E. M. (2009). Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito estufa na região sob influência da rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24(2), 208–233. Retrieved from <http://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/123/3666/1/modelagem.pdf>
- Feo, G. de, & Malvano, C. (2009). The use of LCA in selecting the best MSW management system. *Waste Management*, 29(6), 1901–1915. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.12.021>
- Ferreira, W. A. de A., & Ferreira, N. C. (2014). Seleção Preliminar de áreas para instalação de aterros sanitários na região metropolitana de Goiânia. In *Anais Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. Poços de Caldas/MG*. Retrieved from <http://meioambientepocos.com.br/portal/anais/2014/index.php>
- Freitas, C. M. (2015). Levantamento da disposição final de resíduos sólidos urbanos em 32 municípios do Estado de Goiás. *Revista de Biologia Neotropical*, 12(2), 120–124.

Retrieved from <https://www.revistas.ufg.br/RBN/article/view/27876/20649>

- Gbanie, S. P., Tengbe, P. B., Momoh, J. S., Medo, J., & Kabba, V. T. S. (2013). Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. *Applied Geography*, 36, 3–12. <http://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.06.013>
- Goiás. Lei n.º 14.248, de 29 de julho. (2002). Goiânia/GO: Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Retrieved from http://www.gabinetecivil.goias.gov.br/leis_ordinarias/2002/lei_14248.htm
- Gorsevski, P. V., Donevska, K. R., Mitrovski, C. D., & Frizado, J. P. (2012). Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average. *Waste Management*, 32(2), 287–296. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.023>
- Grazia, G., Queiroz, L. L., Mota, A., & Santos, A. M. (2001). O desafio da sustentabilidade urbana. In *Série Cadernos Temáticos Brasil Sustentável e Democrático* (n. 5). Rio de Janeiro: FASE.
- Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), 220–232. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>
- Hannan, M. A., Al Mamun, M. A., Hussain, A., Basri, H., & Begum, R. A. (2015). A review on technologies and their usage in solid waste monitoring and management systems: Issues and challenges. *Waste Management*, 43, 509–523. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.033>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2016). Cidades@Goiás. Retrieved May 4, 2016, from <http://cod.ibge.gov.br/1V4>
- Ichinose, D., & Yamamoto, M. (2011). On the relationship between the provision of waste management service and illegal dumping. *Resource and Energy Economics*, 33(1), 79–93. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2010.01.002>
- IMB – Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. (2014). Regiões de planejamento 2013 – Estado de Goiás. Retrieved May 23, 2017, from <http://www.imb.go.gov.br/down/regplan2013.pdf>
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2011) TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Retrieved from <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>
- Ishii, K., Furuichi, T., & Nagao, Y. (2013). A needs analysis method for land-use planning of illegal dumping sites: A case study in Aomori-Iwate, Japan. *Waste Management*, 33(2), 445–455. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.10.008>
- Kontos, T. D., Komilis, D. P., & Halvadakis, C. P. (2005). Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste Management*, 25(8), 818–832. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.04.002>
- Lavee, D., & Nardiya, S. (2013). A cost evaluation method for transferring municipalities to solid waste source-separated system. *Waste Management*, 33(5), 1064–1072. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.026>

- Leitão, R. F. M., Ferreira, B. M., Rodrigues, H. O., & Soares-Filho, B. S. (2013). Improving usability on GIS modeling with two new tools in Dinamica EGO. In Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR (pp. 6917–6922). Foz do Iguaçu: INPE.
- Macedo, R. D. C., Almeida, C. M. de, Santos, J. R. dos, & Rudorff, B. F. T. (2013). Modelagem dinâmica espacial das alterações de cobertura e uso da terra relacionadas à expansão canavieira. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 19(2), 313–337. <http://doi.org/10.1590/S1982-21702013000200009>
- Malakahmad, A., Abualqumboz, M. S., Kutty, S. R. M., & Abunama, T. J. (2017). Assessment of carbon footprint emissions and environmental concerns of solid waste treatment and disposal techniques; case study of Malaysia. *Waste Management*, (September). <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.044>
- Mannarino, C. F., Ferreira, J. A., & Gandolla, M. (2016). Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia. *Engenharia Sanitária E Ambiental*, 21(2), 379–385. <http://doi.org/10.1590/s1413-41522016146475>
- Marques, M. D. (2011). Seleção de área para implantação de aterro sanitário simplificado: estudo de caso para o município de Guapó-GO (Master's thesis). Universidade Federal de Goiás. Retrieved from <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tde/621>
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Portaria Interministerial no 60, de 24 de março (2015). Estabelece procedimentos administrativos em processos de licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Retrieved from http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/Portaria_Interministerial_60_de_24_de_marco_de_2015.pdf
- Mota, S. (2011). Urbanização e meio ambiente (4a). Rio de Janeiro - Fortaleza: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES.
- Nascimento, B. F. do, Silva, V. E. G. da, & Costa, M. C. L. (2010). Vulnerabilidade socioambiental no entorno do Aterro Sanitário Metropolitano de Oeste de Caucaia (ASMOC). In Anais XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. Crise, práxis e autonomia: espaços de resistência e de esperanças. Espaço de Diálogos e Práticas (pp. 1–14). Porto Alegre: AGB.
- NURSOL/UFG – Núcleo de Resíduos Sólidos e Líquidos da Universidade Federal de Goiás. (2015). Plano de resíduos sólidos do estado de Goiás - Produto final (Produto 10). Goiânia/GO.
- Piñas, J. A. V., Venturini, O. J., Lora, E. E. S., Oliveira, M. A. de, & Roalcaba, O. D. C. (2016). Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). *Revista Brasileira de Estudos de População*, 33(1), 175–188. doi.org/10.20947/S0102-309820160009
- Pinheiro, R. V. N., Scalize, P. S., Sanz, G., Ferreira, N. C., Ramos, A. C. B., & Albuquerque, A. (2015). Avaliação da vulnerabilidade das bacias de captação devido a presença de lixões no Estado de Goiás, Brasil. In M. A. T. Russo, C. Vilarinho, G. A. Lopes, & N. Caetano (Eds.), *Book of Extended Abstracts of the Congress*

- Challenges on Waste in a Circular Economy: 9.th International Technical Conference on Waste 2015 (pp. 142–151). Lisboa.
- Ritter, E., Ferreira, J. A., Porto, R., & Lima, J. (2010). Contaminação de recursos hídricos: estudo de caso do lixão de São Pedro da Aldeia (RJ). *Estudos Tecnológicos Em Engenharia*, 6(2), 82–93. <https://doi.org/10.4013/ete.2010.62.03>. Acesso em: 04 jan. 2015.
- SECIMA/GO – Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. (2015). Nota técnica – aterros sanitários. Goiânia/GO, Brasil.
- SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás. Resolução n.º 005/2014 – CEMAm, de 26 de fevereiro. (2014). Goiânia/GO: Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental dos projetos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, na modalidade aterro sanitário, nos municípios do Estado de Goiás.
- SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. (2015). SIG – Shapefiles. Retrieved from <http://www2.sieg.go.gov.br/post/ver/171319>
- Soares-Filho, B. S., Rodrigues, H. O., & Costa, W. L. S. (2009). *Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO* (2 ed.). Belo Horizonte, MG, Brazil.
- Soltani, A., Hewage, K., Reza, B., & Sadiq, R. (2015). Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of municipal solid waste management: A review. *Waste Management*, 35, 318–328. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.010>
- Tavares, M. C., & Carissimi, E. (2012). Seleção de áreas para implantação de um aterro sanitário em Porto Velho/RO utilizando geoprocessamento. In 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves – RS.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1993). *Integrated solid waste management - Engineering principles and management issues*. New York: McGraw-Hill.
- Ying, D., Chuanyu, C., Bin, H., Yueen, X., Xuejuan, Z., Yingxu, C., & Weixiang, W. (2012). Characterization and control of odorous gases at a landfill site: A case study in Hangzhou, China. *Waste Management*, 32(2), 317–326. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.07.016>

8. Proposta de sistemas de gestão de resíduos urbanos para os municípios do Estado de Goiás, Brasil

Resumo: A Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil estabelece que os sistemas de gestão de resíduos urbanos (SGRU) devem ser, preferencialmente, partilhados. Entretanto, dos 246 municípios do Estado de Goiás, somente Cidade Ocidental e Valparaíso de Goiás partilham um aterro, situado no primeiro município. Além destes dois municípios, outros 14 municípios, destinam seus resíduos urbanos (RU) para aterros licenciados, sendo que os demais 230 municípios goianos encaminham seus RU para aterros não licenciados ou lixeiras. Diante desse cenário, o objetivo deste estudo foi propor futuros SGRU para os municípios de Goiás. Para isso, primeiramente foram identificadas as áreas livres de restrições para a instalação de aterros, sistemas que receberão o refugo dos RU dos futuros SGRU propostos. Posteriormente, utilizando-se a metodologia da geometria das massas, obteve-se os centros de massa (CM) das 18 microrregiões do Estado de Goiás. Assim, estando identificadas as áreas adequadas para a instalação de aterros e os CM das microrregiões de Goiás, foram definidos os municípios-sede dos futuros SGRU. Os resultados apontaram para 46 futuros SGRU em Goiás. De modo que os aterros dos SGRU propostos não estarão localizados em áreas restritas (que correspondem a 60% do território goiano) para a instalação deste tipo de deposição final. Destes SGRU, 40 serão partilhados entre dois ou mais municípios, e outros seis SGRU propostos serão individuais, pois serão compostos por municípios que estão a mais de 100 km de distância da sede do SGRU mais próximo, ou porque não há ligação rodoviária com pavimentação asfáltica entre o SGRU e o município em questão. Os SGRU propostos visaram agrupar o maior número possível de municípios a transportar seus RU pelas menores distâncias rodoviárias.

Palavras-Chave: Sistemas de gestão; resíduos urbanos; geometria das massas; Estado de Goiás; Brasil.

8.1. Introdução

A gestão adequada dos resíduos urbanos (RU) ainda é um desafio para a maioria dos municípios brasileiros. No ano de 2016, cerca de 41,6% dos RU recolhidos no Brasil tiveram como destino lixeiras ou aterros não licenciados (ABRELPE, 2017). Salienta-se que as lixeiras são processos em que os RU são depositados em terrenos desocupados, a céu aberto,

sem quaisquer critérios técnicos ou medidas de proteção da saúde pública e do ambiente (Garcia et al., 2015; Nascimento, 2007). Enquanto que os aterros não licenciados são processos em que os RU depositados em uma vala com ou sem impermeabilização de base, e que por vezes possui tratamento do lixiviado. Além disso, os RU são cobertos com terra ou com outro material próprio para cobertura e a área onde os resíduos são confinados normalmente é cercada para impedir a entrada de pessoas e animais (Garcia et al., 2015; Oliveira & Gonçalves, 2015).

No Estado de Goiás, por exemplo, o panorama dos RU é ainda pior do que o apresentado no Brasil, pois se estima que 69% dos RU produzidos em 2015 foram encaminhados para aterros não licenciados ou lixeiras, e outros 7% não foram recolhidos e acabaram sendo destinados em cursos de água, terrenos baldios, vias públicas (Colvero, Gomes, Tarelho, & Matos, 2017). Sendo que 230 dos 246 municípios goianos encaminharam nesse ano seus RU para aterros não licenciados ou lixeiras (SECIMA/GO, 2015). Essa ineficiente política de gestão dos RU provoca impactos ambientais, económicos e sociais (Gonçalves, Vale, & Gonçalves, 2016; Gupta, Yadav, & Kumar, 2015).

Assim como mencionam Ritter, Ferreira, Porto, & Lima (2010) as lixeiras e aterros não licenciados devem ser encerrados e ter suas áreas recuperadas, tendo em vista que representam potenciais fontes poluidoras do ambiente e trazem danos à saúde humana. Além disso, com o intuito de respeitar o definido na Lei n.º 12305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS), os municípios goianos devem construir adequados sistemas de gestão de RU (SGRU), que atendam, preferencialmente, dois ou mais municípios, de modo a configurar um sistema partilhado (Brasil, 2010).

Outro ponto importante é o local em que devem ser instalados estes SGRU partilhados, pois para minimizar os custos com o transporte dos RU (Chen & Lo, 2016), deve haver uma otimização da localização em que serão instalados estes futuros SGRU. Os SGRU devem estar centralizados entre os municípios que irá atender, tal como estabelece o Princípio da Autossuficiência e Proximidade, da Diretiva 2008/98/EC (EC, 2008). Além disso, se as instalações que gerem os RU estiverem próximas das fontes geradores, as emissões associadas ao transporte destes resíduos serão menores (Silva, Roza, & Rathmann, 2012).

Assim, diante da necessidade de tecnologias de tratamento e deposição final para os RU de Goiás, o objetivo deste estudo foi propor futuros SGRU para os municípios goianos.

8.2. Materiais e métodos

O Estado de Goiás, situado na região Centro-Oeste do Brasil (Romero, Marcuzzo, & Cardoso, 2014), possuía em 2015 cerca de 6,6 milhões de habitantes alocados em uma área de 340 mil km² (IBGE, 2010, 2016). Goiás é dividido em 18 microrregiões do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (Figura 8-1), sendo que esta fragmentação visa a regionalização dos espaços nos Estados brasileiros, para que se obtenham regiões homogêneas e funcionais (Arrais, 2002). De acordo com Brasil (1988) e IMB (2014), estas microrregiões são agrupamentos de municípios vizinhos com a finalidade de organizar, planejar e executar atividades públicas de interesse comum. Além disso, o propósito destes agrupamentos é validar estudos sobre a identificação de estruturas que devam ser instaladas em regiões metropolitanas ou outras formas de aglomerações urbanas e rurais, como é o caso dos SGRU.

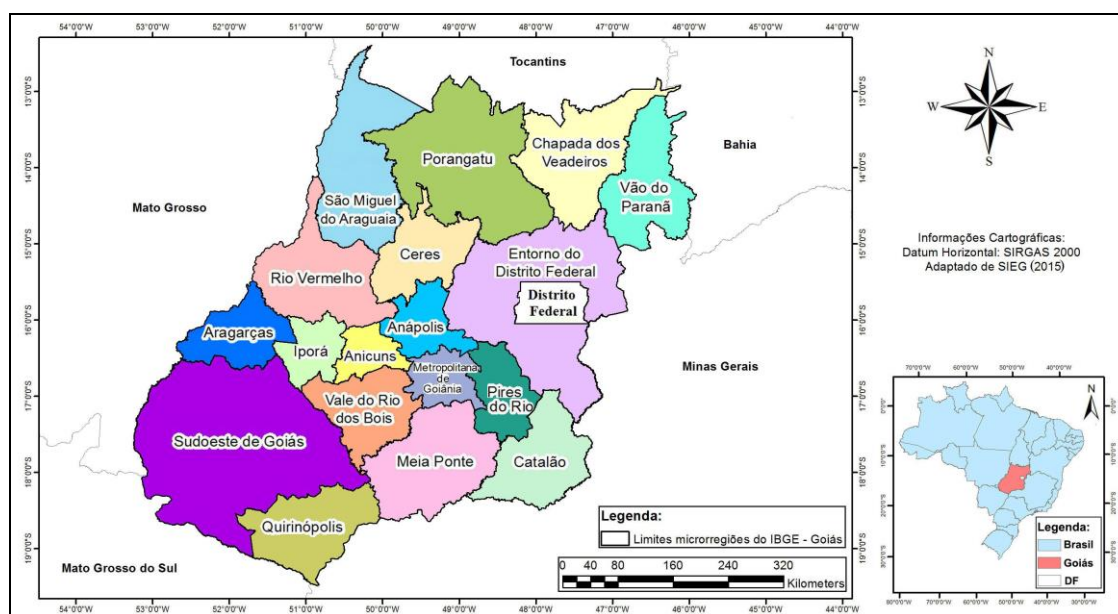


Figura 8-1: 18 microrregiões do Estado de Goiás, Brasil.

De acordo com o estabelecido por Matos et al. (2012), os sistemas de tratamento que visem recuperar parte dos RU (triagem, compostagem, digestão anaeróbia) devem ser descentralizados ao nível de cada município que compõe o SGRU proposto, estando centralizados os sistemas que irão tratar os rejeitos das operações locais e aqueles RU que não forem desviados (ou seja, estarão centralizados sistemas como, por exemplo, aterro e incineração).

Os municípios-sede (MS) dos SGRU serão distribuídos dentro das 18 microrregiões, de modo que o município de uma microrregião pode receber os RU de um município de outra microrregião. O que definirá esta questão será a proximidade entre o MS e o município não sede (MNS) de um SGRU, não as microrregiões.

Propor SGRU partilhados, além de atender o definido pela PNRS (Brasil, 2010), auxiliará os municípios goianos a mudar o atual cenário da gestão dos RU. Principalmente nos municípios com população inferior a 50 mil habitantes, os chamados municípios de pequeno porte (Araújo & Nunes, 2013), que segundo dados de IBGE (2016), representavam, em 2015, 91% dos municípios de Goiás. Municípios que normalmente não possuem estrutura técnica habilitada e capacitada para fazer a gestão dos RU (Colvero, Gomes, & Pfeiffer, 2015). Além disso, para garantir a sustentabilidade financeira e possibilitar a otimização dos recursos, os SGRU devem agregar o maior número de municípios, desde que os custos de transporte não inviabilizem estes sistemas (Martins & Martins, 2014).

Para definir os SGRU (e seus MS) que serão propostos para Goiás, foram estabelecidos alguns critérios, que estão descritos a seguir.

8.2.1. Áreas que sejam livres ou sujeitas a aprovação para a instalação de aterros

O primeiro passo para definir o MS de cada SGRU proposto foi estabelecer as áreas livres ou sujeitas a aprovação para a instalação de sistemas de deposição final de RU, nomeadamente os aterros, conforme estabelecido no estudo de Colvero, Gomes, Tarelho, Matos, & Santos (2018). As áreas com restrições para a construção de aterros foram descartadas, ou seja, salvo alguma exceção, as sedes dos SGRU propostos não estarão situadas em áreas com restrições para a instalação de aterros.

Para selecionar preliminarmente as áreas livres ou restritas para a instalação de aterros no Estado de Goiás, cinco documentos legais serviram de referência para definir quais os aspetos geográficos e ambientais que devem ser respeitados para a instalação de aterros (Tabela 8-1). Como referem Ferreira & Ferreira (2014), o mapeamento das áreas disponíveis para a construção de aterros deve ser elaborado respeitando-se parâmetros ambientais e critérios de distâncias.

A identificação das áreas livres ou restritas para a instalação de aterros foi feita utilizando-se um sistema de informação geográfica (SIG). Sendo que a ferramenta SIG aplicada foi o *ArcGIS*, versão 10.3.1. Os *shapefiles* que possibilitaram representar

geograficamente os critérios avaliados foram obtidos no banco de dados do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás – SIEG (2015).

Tabela 8-1: Critérios restritivos (e sujeitos a aprovação) para a instalação de aterros em Goiás.

Critério	Valores restritivos para a instalação de aterros	Documentos legais
Distância do perímetro urbano	Mínimo 3 km	Resolução CEMAm n.º 05/2014
Declividade do terreno	Menor que 1% e maior que 20%	NBR ABNT n.º 13896/1997 e Resolução CEMAm n.º 05/2014
Distância de corpos hídricos superficiais	Mínimo 0,3 km de quaisquer corpos hídricos Mínimo 0,5 km de corpos hídricos utilizados para abastecimento Mínimo 2,5 km do ponto de captação para abastecimento público	Resolução CEMAm n.º 05/2014
Distância de unidades de conservação	Mínimo 3 km a partir do limite da unidade de conservação (distância sujeita a aprovação)	Resolução CONAMA n.º 428/2010 e Resolução CEMAm n.º 05/2014
Distância de aeródromos	Mínimo 20 km (distância sujeita a aprovação)	Lei Federal n.º 12725/2012
Presença de vegetação nativa remanescente	Preferencialmente deve se situar fora de reserva legal e em local que, de preferência, não haja a necessidade de desmatar	Resolução CEMAm n.º 05/2014
Terras quilombolas e terras indígenas	Mínimo 8 km (distância sujeita a aprovação)	Portaria Interministerial n.º 60/2015, do Ministério do Meio Ambiente

Fonte: Adaptado de ABNT (1997), Brasil (2012), CONAMA (2010), MMA (2015) e SEMARH/GO (2014).

8.2.2. Municípios goianos geograficamente centralizados

O principal critério para a definição dos MS dos SGRU propostos foi a localização geográfica. Para isso, foram identificados aqueles municípios centralizados geograficamente dentro de cada uma das 18 microrregiões de Goiás (IMB, 2014).

Sendo que, para identificar os municípios centralizados de cada microrregião utilizou-se a metodologia da geometria das massas, que usa as coordenadas x e y (obtidas a partir dos *shapefiles* de SIEG (2015)) e a produção de RU (conforme estudo de Colvero et al. (2017)) de cada município que compõe a área em que se deseja encontrar o centro de massa (CM ou centro de gravidade). De acordo com estudos de Pereira, Franco, & Castilhos Júnior (2013) e Russo (2003), os cálculos dos CM foram realizados aplicando-se as expressões apresentadas nas Equações 8-1 e 8-2.

$$x = \frac{\sum (x_i \cdot P_i)}{\sum P_i} \text{ (Equação 8-1)}$$

$$y = \frac{\sum (y_i \cdot P_i)}{\sum P_i} \text{ (Equação 8-2)}$$

Em que:

x – longitude; y – latitude; x_i e y_i – coordenadas geográficas dos centros urbanos, em coordenadas UTM; P_i – produção média diária de RU de cada município, em t·dia⁻¹. De modo que os valores de x e y são as coordenadas geográficas em que se localiza o CM da região analisada.

A definição de um CM possibilita que se reduzam os custos com o transporte de RU, pois os SGRU ficarão mais próximos dos geradores destes resíduos (Bridi, 2008; Pereira et al., 2013). Além disso, ao utilizar a metodologia da geometria das massas, os municípios de maior porte (que produzem mais RU) farão menores deslocamentos com seus RU. Sendo que os custos com o transporte de resíduos são de suma importância em um SGRU pois, juntamente com os custos de recolha, representam em torno de 60% dos custos de gestão dos RU (Matos et al., 2012).

A identificação do CM de cada microrregião servirá de suporte para o estabelecimento dos MS dos SGRU propostos. Entretanto, convém destacar que o CM auxiliará na definição do MS, mas não significa que o CM será a localização do SGRU proposto. Primeiro porque o CM pode estar situado em uma área restrita geograficamente para instalação de aterro, o que infringiria o primeiro critério (definido no item 8.2.1). Segundo porque como o Estado de Goiás tem grande extensão territorial (mais de 340 mil km² – IBGE, 2016), há microrregiões com elevadas distâncias entre os CM e os municípios mais periféricos. Por isso, as microrregiões poderão ser redivididas de forma a se definir um MS que atenda o maior número de municípios.

Salienta-se ainda, que neste estudo foram considerados somente os deslocamentos entre municípios por rodovias com pavimentação asfáltica (Russo, 2003). A qualidade das rodovias, assim como a disponibilidade de instalações de gestão de RU reduzem o tempo de recolha e transporte de RU e, conseqüentemente, os custos com a gestão dos resíduos (Guerrero, Maas, & Hogland, 2013).

8.2.3. Distâncias entre os municípios-sede e os municípios não sede

Assumindo-se que os veículos de recolha de RU se deslocam a uma velocidade média de 50 km·h⁻¹ (Suzuki & Gomes, 2009), e que estes veículos farão o trajeto de ida e

volta até a fonte geradora de resíduos em até uma hora, definiu-se que a distância máxima entre o MS (onde se situará o SGRU) e o MNS não deverá exceder os 25 km (Chen & Lo, 2016; FEAM & Engebio, 2010). Os MNS com distanciamentos rodoviários superiores a 25 km dos SGRU deverão encaminhar seus resíduos para uma estação de transferência (ET) antes de serem encaminhados ao SGRU. Sendo que a distância máxima entre os MNS e as ET também não deverá ultrapassar os 25 km. Definiram-se por ET desde os 25 km pois esta distância é considerada o ponto de viragem, a partir do qual se torna vantajoso economicamente ter uma ET ao invés de transportar os RU diretamente ao SGRU (US EPA, 2002). Salienta-se ainda que as ET deverão distar, no máximo, 100 km do SGRU (FEAM & Engebio, 2010).

Modelando matematicamente as condições supracitadas, considera-se as seguintes variáveis: a – distância do MNS ao SGRU (km); b – distância do MNS à ET (km); c – distância da ET ao SGRU (km). Se a distância (d) do MNS ao SGRU for inferior ou igual a 25 km, deverá considerar-se a função matemática da Equação 8-3:

$$d = a, 0 < a \leq 25 \quad \text{(Equação 8-3)}$$

Caso d ultrapasse os 25 km considera-se a função da Equação 8-4:

$$d = b + c, 0 < b \leq 25 \wedge 0 < c \leq 100 \quad \text{(Equação 8-4)}$$

Devido às grandes extensões territoriais, e consequentemente, distâncias rodoviárias superiores a 100 km entre municípios goianos de algumas microrregiões, houve a necessidade de agrupar os municípios em mais de um SGRU, ou seja, foi necessário obter mais de um CM para a mesma microrregião. Esta divisão visou garantir a obtenção de associações entre os municípios com relações de proximidade.

A identificação da necessidade de dividir as microrregiões que estavam com distanciamentos rodoviários entre SGRU e MNS superiores aos 100 km (mesmo utilizando-se ET) ocorreu da seguinte forma: primeiramente foi obtido o CM de cada microrregião e escolhida uma área não restrita, o mais próximo possível deste CM, para sistemas de deposição final de RU. A partir desta área não restrita verificou-se os distanciamentos rodoviários com pavimentação asfáltica deste local até cada MNS. Desse modo, observou-se que haviam microrregiões que precisavam de mais de um CM. Assim, dividiu-se a microrregião em duas, três, ou quantas partes fossem necessárias de modo a garantir que todos os municípios seriam atendidos por algum SGRU.

Definidos os MS de cada SGRU, e utilizando-se a mesma lógica dos distanciamentos rodoviários, foi verificado se os MNS iriam necessitar de uma ET ou se poderiam enviar seus RU diretamente para o SGRU mais próximo. Esta nova análise foi feita calculando-se a distância rodoviária máxima de 25 km, a partir do ponto definido como sede do SGRU. Caso o MNS não estivesse a até 25 km do MS, teria que ter uma ET. O passo seguinte foi verificar quais MNS que estavam a mais de 25 km do SGRU proposto e que poderiam partilhar a mesma ET. Para isso, foi identificado o MNS o mais próximo do SGRU (mas com distância superior a 25 km do SGRU), e verificado quais municípios estavam a até 25 km deste MNS, de modo a garantir uma distância de até 25 km de outro MNS até a ET. Em suma, foi feita uma análise topológica, para verificar a cobertura do SGRU no Estado a partir das regras pré-estabelecidas, e depois uma análise espacial, tendo em consideração as distâncias e a malha rodoviária (com pavimentação asfáltica). Além disso, buscou-se situar o SGRU e as ET em locais contíguos às rodovias. Na Figura 8-2 está apresentado um mapa ilustrando um exemplo das distâncias de transporte dos RU dos MNS até os MS dos SGRU.

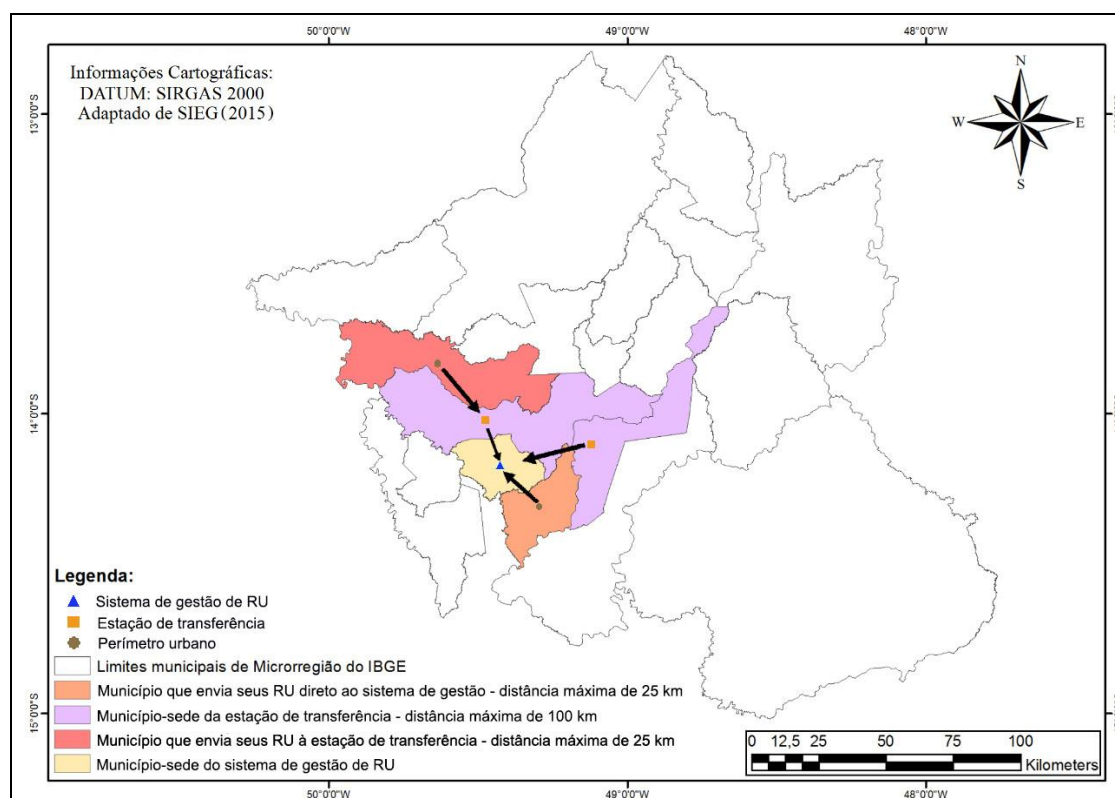


Figura 8-2: Exemplificação do deslocamento rodoviário dos RU até os SGRU propostos para as microrregiões do Estado de Goiás.

Salienta-se que, mesmo com a divisão das microrregiões, poderão haver municípios que, por estarem isolados geograficamente, terão que ter SGRU individuais. Situação que pode ocorrer principalmente no Norte, Nordeste e Oeste Goiano, onde existem municípios que estão com distâncias superiores a 100 km uns dos outros.

8.2.4. Municípios goianos com aterro licenciado pela SECIMA/GO

Sabendo-se as áreas livres ou sujeitas para a instalação de aterros e os CM, foi estabelecido outro critério auxiliar a ser considerado para definir o MS de um SGRU. Este critério se refere aos municípios que possuem aterro licenciado pela SECIMA/GO, que terão prioridade na escolha dos SGRU. Para isso, os aterros licenciados devem estar localizados em áreas livres de restrições ou sujeitas a aprovação do órgão de controle ambiental (OCA) para a instalação de aterros, conforme Colvero et al. (2018). Essa definição é importante, pois assim possibilita o aproveitamento do aterro já existente (que dependendo do quantitativo de RU a receber deverá ser ampliado). Contudo, se o aterro se localizar em um município não centralizado geograficamente, este sistema pode ser descartado como MS devido aos custos com transporte. Nestes casos, sugere-se que os municípios com aterro licenciado que não forem definidos como MS de um SGRU, utilizem este aterro até o fim da vida útil e, posteriormente, passem a integrar um sistema partilhado.

8.3. *Resultados e Discussão*

8.3.1. Áreas livres ou sujeitas a aprovação para a instalação de aterros

De acordo com dados de Colvero et al. (2018), em Goiás, 137 880 km² são livres de restrições ou sujeitos a aprovação para a instalação de aterros (Tabela 8-2). Isso representa cerca de 40% da área total do Estado de Goiás (sendo 23% áreas sujeitas a aprovação e 17% de áreas livres), o que elimina cerca de 60% de toda a extensão territorial do Estado para a instalação de aterros.

Avaliando-se as microrregiões, verifica-se que no *Sudoeste de Goiás* há a maior extensão territorial restrita para a instalação de aterros, com 33 968 km² (o que representa 16,6% do total de área restrita do Estado). Entretanto, no *Sudoeste de Goiás* há 21 360 km² livres ou sujeitos a aprovação do OCA, o que ameniza a situação desta microrregião. Sendo que a situação mais preocupante é da microrregião *Metropolitana de Goiânia*, que possui 78,1% de sua área restrita para a instalação de aterros, sendo que há 1 475 km²

livres ou sujeitos a aprovação do OCA para a construção de sistemas de deposição final de RU. O problema é ainda mais crítico, por exemplo, em Aparecida de Goiânia e Goiânia, municípios com os maiores quantitativos populacionais de Goiás, em que 98,5% e 99,8% de toda a extensão territorial, respectivamente, são restritas para a instalação de aterros.

Por outro lado, a microrregião de *Entorno do Distrito Federal* possui a mais extensa área livre dentre as microrregiões, com 9 096 km² (o que representa 15,3% do total de área livre para a instalação de aterro em Goiás). Além disso, em termos percentuais da área que cada microrregião possui livre, quem se sobressai é a microrregião de *Pires do Rio*, que possui 26,6% de toda a sua extensão territorial livre para a instalação de aterro.

Tabela 8-2: Áreas com restrições, sujeitas a aprovação e livres para instalação e operação de aterro, por microrregião de Goiás em 2040.

Microrregião	Área restrita para aterro		Área sujeita a aprovação para aterro		Área livre para aterro	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
<i>São Miguel do Araguaia</i>	12 201	50,0	9 463	38,8	2 726	11,2
<i>Porangatu</i>	20 847	59,3	6 720	19,1	7 607	21,6
<i>Chapada dos Veadeiros</i>	12 752	59,8	5 350	25,1	3 239	15,2
<i>Vão do Paranã</i>	12 271	61,2	6 073	30,3	1 709	8,5
<i>Rio Vermelho</i>	12 932	64,0	4 577	22,6	2 700	13,4
<i>Ceres</i>	9 153	69,6	1 955	14,9	2 052	15,6
<i>Entorno do Distrito Federal</i>	22 879	60,0	6 133	16,1	9 096	23,9
<i>Araguarças</i>	7 642	69,2	1 703	15,4	1 701	15,4
<i>Iporá</i>	5 091	71,9	306	4,3	1 681	23,7
<i>Anicuns</i>	3 729	67,9	346	6,3	1 413	25,8
<i>Anápolis</i>	6 812	76,2	909	10,2	1 216	13,6
<i>Sudoeste de Goiás</i>	33 968	61,4	12 574	22,7	8 786	15,9
<i>Vale do Rio dos Bois</i>	6 949	51,1	5 203	38,3	1 446	10,6
<i>Metropolitana de Goiânia</i>	5 267	78,1	686	10,2	789	11,7
<i>Pires do Rio</i>	5 040	53,1	1 927	20,3	2 529	26,6
<i>Meia Ponte</i>	11 869	55,9	6 121	28,9	3 226	15,2
<i>Catalão</i>	7 918	52,1	3 420	22,5	3 864	25,4
<i>Quirinópolis</i>	7 425	46,2	4 901	30,5	3 733	23,2
Estado de Goiás	204 745	59,8	78 367	22,9	59 513	17,3

Essa informação das áreas não restritas para a instalação de aterros no Estado de Goiás é fundamental, porque independentemente das tecnologias que envolvam um SGRU, sempre deverá existir aterros para receber os refugos dos sistemas de tratamentos (Gbanie, Tengbe, Momoh, Medo, & Kabba, 2013).

8.3.2. Localização dos centros de massa

Devido às amplas extensões territoriais e, conseqüentemente, distâncias acima dos 100 km entre alguns municípios, identificou-se a necessidade de estabelecer mais de um CM para 12 das 18 microrregiões do Estado de Goiás. Dessa forma, a partir das coordenadas geográficas e da estimativa da produção de RU para os 246 municípios de Goiás em 2015, utilizou-se a metodologia da geometria das massas (Equações 8-1 e 8-2) para obter os CM para as microrregiões de Goiás. Utilizou-se a produção de RU de 2015 porque a população dos municípios goianos para este ano foi obtida a partir do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2016), órgão oficial do Brasil que realiza censos populacionais.

Assim, foram obtidos 37 CM nas 18 microrregiões, conforme apresentado na Figura 8-3 (e na Tabela C.1-1 do Anexo C.1), em que foi mesclado em um mesmo mapa as 10 regiões de planejamento e as 18 microrregiões de Goiás. A junção das regiões com as microrregiões em um mesmo mapa permite visualizar melhor como os CM preencheram os espaços, assim como eventuais lacunas em toda a extensão territorial de Goiás.

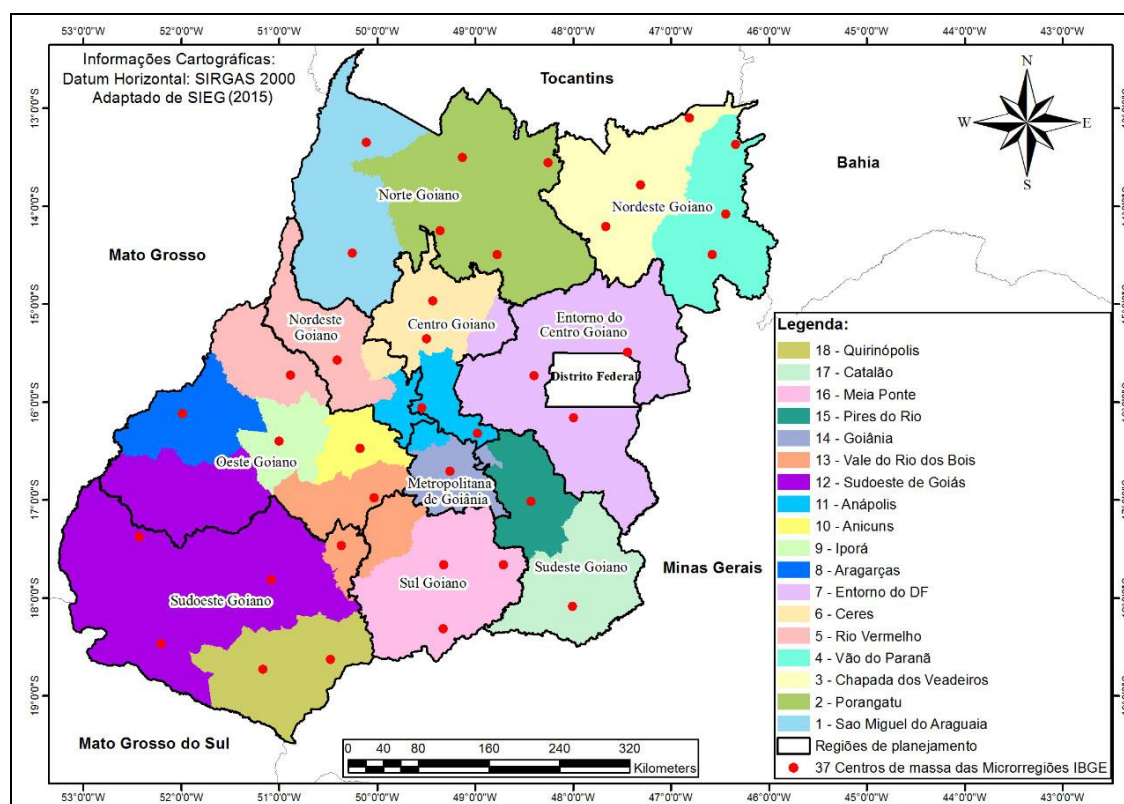


Figura 8-3: 37 centros de massa para a localização dos SGRU para o Estado de Goiás.

8.3.3. Aterros licenciados pela SECIMA/GO

Em 2015 havia 15 municípios goianos com aterro licenciado pela SECIMA/GO, conforme apresentado na Tabela 8-3 (SECIMA/GO, 2015). Estes aterros estão situados em nove microrregiões, sendo que na microrregião *Metropolitana de Goiânia* estão concentrados 33% destes aterros. Salienta-se ainda que há nove microrregiões que não possuem aterros licenciados.

Referente à área de localização destes sistemas de deposição final de RU licenciados, apenas no município de Bela Vista o aterro está situado em área livre de restrições para a instalação destes sistemas. Outros quatro aterros estão em área sujeita a aprovação e 10 aterros estão em área restrita (Colvero et al., 2018). Dessa forma, somente os cinco aterros situados em áreas livres ou sujeitas a aprovação poderiam ser utilizados como sede dos SGRU. Os outros 10 aterros, por estarem em áreas restritas, foram descartados da proposta de possíveis sedes dos futuros SGRU.

Tabela 8-3: Municípios com aterro licenciado pela SECIMA/GO no Estado de Goiás.

Microrregião	Município	Localização do Aterro	Área sujeita a aprovação (km ²)	Área Livre (km ²)	Estimativa da produção de RU em 2021 (t·dia ⁻¹)
			Colvero et al. (2018)		Colvero et al. (2017)
<i>Porangatu</i>	Alto Horizonte	3	43,2	164,0	3,4
<i>Ceres</i>	Goianésia	2	482,6	71,4	49,2
<i>Entorno do DF</i>	Cidade Ocidental	2	55,4	24,9	50,3
<i>Anápolis</i>	Anápolis	3	184,1	6,3	318,3
<i>Sudoeste de Goiás</i>	Chapadão do Céu	3	1 132,5	380,2	4,9
<i>Vale do Rio dos Bois</i>	Palmeiras de Goiás	3	607,4	58,6	18,3
<i>Vale do Rio dos Bois</i>	Turvelândia	2	546,7	0,0	2,3
<i>MGyn</i>	Aparecida de Goiânia	3	4,3	0,0	444,9
<i>MGyn</i>	Bela Vista de Goiás	1	174,5	289,9	18,7
<i>MGyn</i>	Bonfinópolis	3	6,4	8,5	4,8
<i>MGyn</i>	Hidrolândia	3	79,1	125,7	13,2
<i>MGyn</i>	Senador Canedo	3	2,0	0,0	88,6
<i>Meia Ponte</i>	Rio Quente	2	70,1	0,0	2,4
<i>Catalão</i>	Campo Alegre de Goiás	3	615,3	674,0	3,6
<i>Catalão</i>	Catalão	3	725,0	1 107,7	83,6

1 – Aterro localizado em área livre de restrições para a instalação de aterro
2 – Aterro localizado em área sujeita a aprovação do órgão de controle ambiental para a instalação de aterro
3 – Aterro localizado em área restrita para a instalação de aterro
Entorno do DF: Entorno do Distrito Federal
MGyn: Metropolitana de Goiânia

8.3.4. Definição dos municípios-sede dos sistemas de gestão de RU de Goiás

A partir dos 37 CM obtidos, definiram-se 46 SGRU que atenderão os 246 municípios do Estado de Goiás (Figura 8-4). Estabeleceu-se um local para cada SGRU que

fosse o mais próximo possível do CM, em áreas sem restrições para a instalação de aterros e junto a rodovias com pavimentação asfáltica.

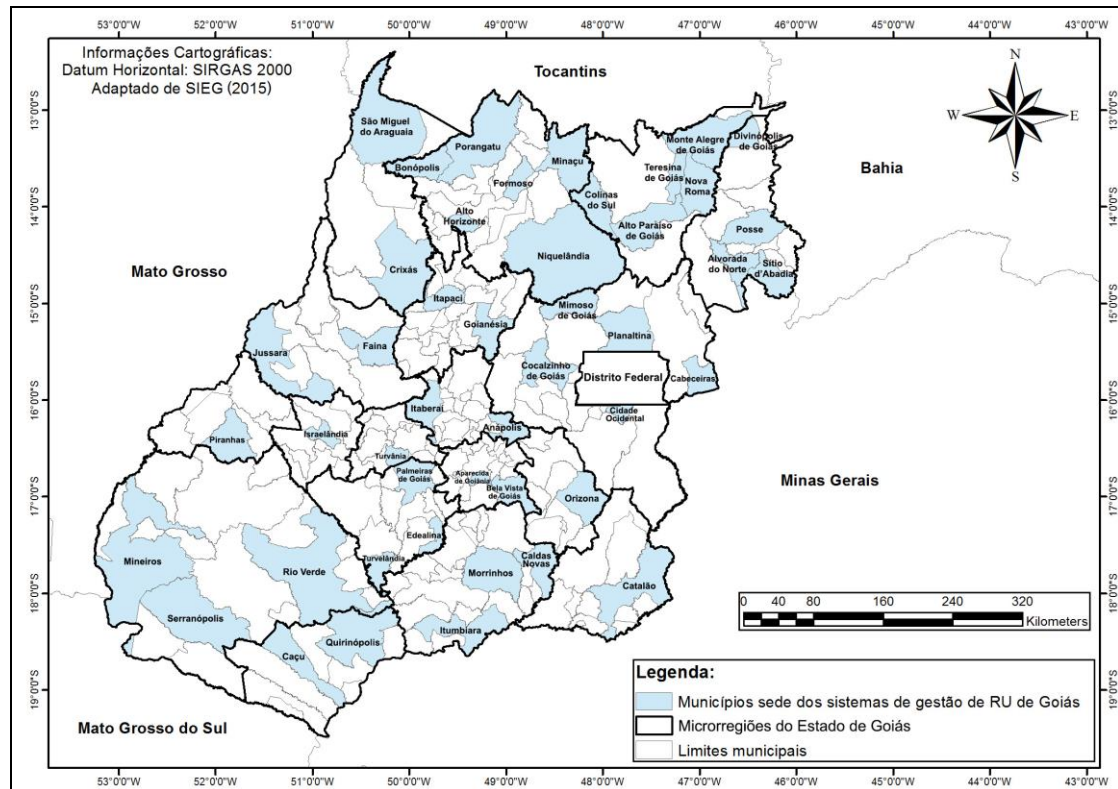


Figura 8-4: Municípios-sede dos SGRU propostos para Goiás.

A definição de nove SGRU além do quantitativo de CM (46 SGRU, apesar de terem sido identificados 37 CM) foi necessário para suprir algumas lacunas, e também para atender às diretrizes definidas neste estudo. As justificações para a definição de cada um destes nove municípios além dos 37 CM estão apresentadas a seguir:

- Municípios com distâncias superiores a 100 km do SGRU mais próximo acabaram por ficar com sistemas individuais. Foram os casos de três municípios: Cabeceiras (Figura 8-5), Colinas do Sul e Niquelândia;

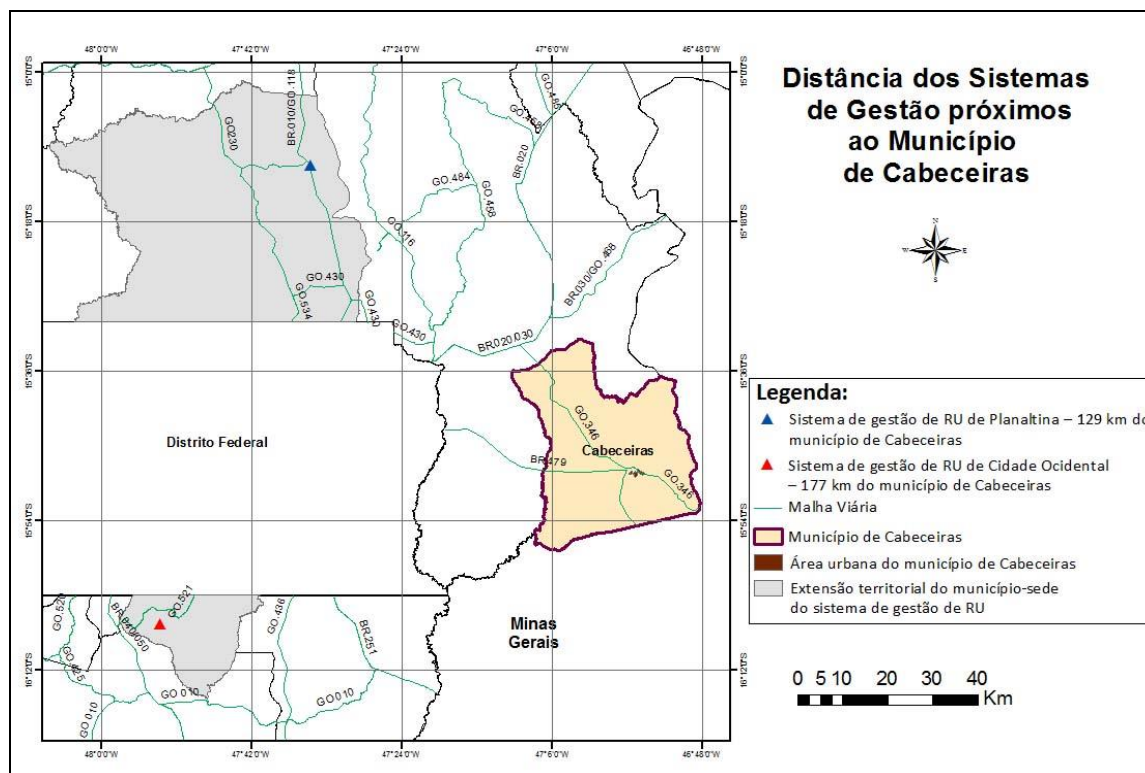


Figura 8-5: Centro urbano do município de Cabeceiras, Goiás, que está a uma distância superior a 100 km dos SGRU dos municípios vizinhos.

- Municípios sem ligação rodoviária com pavimentação asfáltica para os municípios vizinhos também ficaram com sistemas individuais. Esta situação ocorreu com os municípios de Bonópolis (Figura 8-6), Mimoso de Goiás e Nova Roma. Há também o caso de Sítio d’Abadia, município que está a cerca de 90 km do SGRU proposto para Alvorada do Norte. Entretanto, parte da rodovia entre Sítio d’Abadia e Alvorada do Norte não possui pavimentação asfáltica. Dessa forma, optou-se por propor um SGRU para Sítio d’Abadia, só que este município não terá um SGRU individual, pois Damianópolis e Mambai (que estão situados em área com Unidade de Conservação e não possuem área disponível para aterro) estão mais próximos do SGRU proposto para Sítio d’Abadia do que do SGRU proposto para Alvorada do Norte (município no qual estavam a partilhar o SGRU inicialmente). Desse modo, estes dois municípios também integrarão o SGRU de Sítio d’Abadia.

- Municípios com localização geográfica estratégica para atender municípios que ficariam isolados por estarem a mais de 100 km do sistema de gestão mais próximo. Foi o caso dos SGRU de Edealina e Formoso, que supriram lacunas e acabaram por formar SGRU com nove e sete municípios, respetivamente.

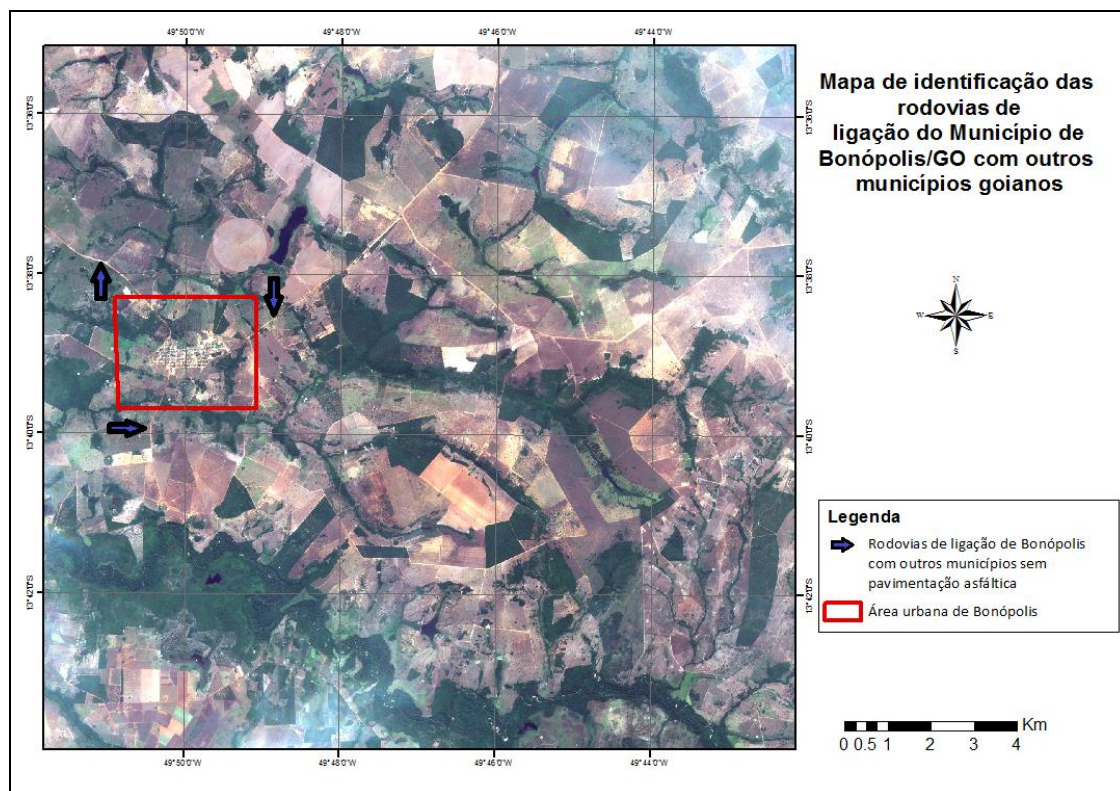


Figura 8-6: Rodovias que ligam o município de Bonópolis, Goiás, com outros municípios goianos sem pavimentação asfáltica.

As microrregiões, os MS dos SGRU, a população atendida em 2021, os quantitativos de RU produzidos 2021 e 2040 e o número de municípios que integram cada um dos 46 SGRU propostos estão apresentados na Tabela 8-4. Apesar de não ser MS de um SGRU, o município de Hidrolândia também está na Tabela 8-4, pois como possui área livre para a instalação de sistemas de deposição final de RU e por estar próximo do município de Aparecida de Goiânia (MS de um SGRU proposto, mas que não possui área disponível para a construção de um aterro), será sede do aterro que pertencerá ao sistema proposto para este último município.

As coordenadas geográficas do futuro sistema de deposição final de resíduos sólidos de Hidrolândia, assim como de cada um dos 46 SGRU propostos estão apresentados nas Tabelas C.2-1 a C.2-6 do Anexo C.2, conforme descrito a seguir:

- Coordenadas geográficas da localização dos SGRU (e respectiva identificação dos MS destes sistemas) – Tabela C.2-1 do Anexo C.2;
- Coordenadas geográficas da localização do perímetro urbano (centro gerador de RU) dos MS dos SGRU – Tabela C.2-2 do Anexo C.2;

- Coordenadas geográficas da localização do perímetro urbano (centro gerador de RU) dos municípios que enviarão seus RU diretamente para os sistemas sede de gestão de RU – Tabela C.2-3 do Anexo C.2;
- Coordenadas geográficas da localização das ET (e respectiva identificação dos MS destas ET) – Tabela C.2-4 do Anexo C.2;
- Coordenadas geográficas da localização do perímetro urbano (centro gerador de RU) dos MS das ET – Tabela C.2-5 do Anexo C.2;
- Coordenadas geográficas da localização do perímetro urbano (centro gerador de RU) dos municípios que enviarão seus RU para a ET (para posteriormente serem encaminhados aos SGRU) – Tabela C.2-6 do Anexo C.2.

As estimativas da produção de RU para cada SGRU estão apresentadas na Tabela 8-4 para os anos 2021 e de 2040 porque, de acordo com a PNRS (Brasil, 2010), um plano de gestão de RU deve ser previsto para um horizonte de 20 anos. De modo que a previsão é de que os SGRU passem a operar a partir de 2021, tendo assim o fim da vida útil em 2040 (Colvero et al., 2018).

O SGRU que terá o maior quantitativo de RU a tratar será o situado no município de Aparecida de Goiânia, sistema que terá 19 municípios a produzir em 2021 cerca de $2\,290\text{ t}\cdot\text{dia}^{-1}$, e situar-se-á na microrregião *Metropolitana de Goiânia*. Enquanto que o SGRU com menos quantitativos de RU a tratar, em 2021, será o de Mimoso de Goiás, com $1,2\text{ t}\cdot\text{dia}^{-1}$ de RU. Este SGRU será individual (pois receberá somente os RU do próprio MS, Mimoso de Goiás) e estará localizado na microrregião *Entorno do Distrito Federal*. A microrregião com o maior número de sistemas de gestão será a de *Porangatu*, com seis SGRU, sendo que haverá cinco microrregiões com apenas um SGRU: *Anicuns, Aragarças, Catalão, Iporá e Pires do Rio*.

Tabela 8-4: Microrregião, municípios-sede, estimativa da população, produção de RU e quantitativo de municípios atendidos em cada um dos 46 SGRU propostos para Goiás.

Microrregião de Goiás do município-sede	Município-sede do sistema de gestão de RU	Estimativa da população atendida em 2021 (habitantes)	Produção RU (t·dia ⁻¹)		Quantitativo de municípios atendidos
			2021	2040	
<i>São Miguel do Araguaia</i>	Crixás	44 375	23,5	24,6	5
<i>São Miguel do Araguaia</i>	São Miguel do Araguaia	29 991	16,9	18,3	2
<i>Porangatu</i>	Alto Horizonte	36 366	18,6	24,4	5
<i>Porangatu</i>	Bonópolis	4 154	1,9	2,0	1
<i>Porangatu</i>	Formoso	18 872	8,7	8,0	5
<i>Porangatu</i>	Minaçu	33 086	19,4	13,7	2
<i>Porangatu</i>	Niquelândia	51 267	33,3	58,0	1
<i>Porangatu</i>	Porangatu	51 744	31,6	37,7	3
<i>Chapada dos Veadeiros</i>	Alto Paraíso de Goiás	21 978	11,7	20,7	2
<i>Chapada dos Veadeiros</i>	Colinas do Sul	3 648	1,7	1,8	1
<i>Chapada dos Veadeiros</i>	Monte Alegre de Goiás	26 791	14,7	15,0	2
<i>Chapada dos Veadeiros</i>	Nova Roma	3 385	1,6	1,5	1
<i>Chapada dos Veadeiros</i>	Teresina de Goiás	13 279	6,6	7,7	2
<i>Vão do Paranã</i>	Alvorada do Norte	43 051	22,5	34,7	5
<i>Vão do Paranã</i>	Divinópolis de Goiás	17 303	9,0	10,2	2
<i>Vão do Paranã</i>	Posse	52 125	30,5	33,5	3
<i>Vão do Paranã</i>	Sítio d'Abadia	16 244	8,1	14,1	3
<i>Rio Vermelho</i>	Faina	72 069	39,5	52,1	7
<i>Rio Vermelho</i>	Jussara	42 563	21,9	19,9	6
<i>Ceres</i>	Goianésia	110 985	69,1	93,8	6
<i>Ceres</i>	Itapaci	155 227	87,1	100,8	15
<i>Entorno do Distrito Federal</i>	Cabeceiras	7 893	4,0	4,6	1
<i>Entorno do Distrito Federal</i>	Cocalzinho de Goiás	352 574	250,8	266,8	6
<i>Entorno do Distrito Federal</i>	Cidade Ocidental	605 918	449,5	507,8	5
<i>Entorno do Distrito Federal</i>	Mimoso de Goiás	2 665	1,2	1,2	1
<i>Entorno do Distrito Federal</i>	Planaltina	220 934	157,8	203,9	3
<i>Aragarças</i>	Piranhas	76 015	40,7	44,7	8
<i>Iporá</i>	Israelândia	63 066	34,2	33,1	10
<i>Anicuns</i>	Firminópolis	93 391	51,2	93,5	12
<i>Anápolis</i>	Itaberaí	160 201	95,3	110,1	11
<i>Anápolis</i>	Anápolis	550 418	421,9	519,9	13
<i>Sudoeste de Goiás</i>	Mineiros	86 421	55,5	100,0	4
<i>Sudoeste de Goiás</i>	Rio Verde	274 942	219,6	470,0	2
<i>Sudoeste de Goiás</i>	Serranópolis	124 791	84,8	115,1	4
<i>Vale do Rio dos Bois</i>	Palmeiras de Goiás	86 527	48,0	65,3	8
<i>Vale do Rio dos Bois</i>	Turvelândia	92 410	53,0	65,0	7
<i>Vale do Rio dos Bois</i>	Edealina	73 217	38,8	43,3	8
<i>Metropolitana de Goiânia</i>	Aparecida de Goiânia	2 434 595	2 290,3	2 947,3	19
<i>Metropolitana de Goiânia</i>	Bela Vista de Goiás	34 722	20,5	31,1	2
<i>Metropolitana de Goiânia</i>	Hidrolândia*	2 334 595	572,6	736,8	19
<i>Pires do Rio</i>	Orizona	100 562	56,3	64,4	9
<i>Meia Ponte</i>	Caldas Novas	160 750	103,3	125,2	7
<i>Meia Ponte</i>	Itumbiara	138 441	94,1	115,9	3
<i>Meia Ponte</i>	Morrinhos	90 858	55,6	61,2	4
<i>Catalão</i>	Catalão	145 795	98,4	163,5	9
<i>Quirinópolis</i>	Caçu	73 803	39,6	52,2	8
<i>Quirinópolis</i>	Quirinópolis	62 362	38,5	51,3	3
Total		6 961 774	5 280,8	6 848,9	246

*Hidrolândia será município-sede do aterro que pertencerá ao SGRU proposto para Aparecida de Goiânia, e não está contabilizado nos valores totais para não haver duplicações dos somatórios.

Dos 15 municípios goianos que possuem aterros licenciados pela SECIMA/GO (2015), nove estão entre os 46 municípios escolhidos como MS dos SGRU propostos para Goiás. Sendo que dos municípios escolhidos como sede dos SGRU, cinco possuem aterro licenciado em área restrita: Alto Horizonte, Anápolis, Aparecida de Goiânia, Catalão e Palmeiras de Goiás. Para estes casos, a proposta é que estes municípios utilizem o aterro até o início da operação dos novos SGRU e depois encerrem e recuperem as áreas onde estão instalados estes aterros. Dentre os aterros destes cinco municípios, o que possui licença de operação mais longa é o de Palmeiras de Goiás, que finda em julho de 2021 (SECIMA/GO, 2015), ou seja, no mesmo ano que entrarão em operação os SGRU propostos. Para os outros quatro municípios escolhidos como sede dos SGRU propostos, e que possuem aterro licenciado, três possuem aterro em área sujeita a aprovação (Cidade Ocidental, Goianésia e Turvelândia) e um possui aterro em área livre (Bela Vista de Goiás), sendo que a localização do SGRU proposto é a do próprio aterro já existente.

Dos seis municípios com aterros licenciados que não foram escolhidos como sede dos SGRU, cinco possuem seus aterros em áreas restritas (Bonfinópolis, Campo Alegre de Goiás, Chapadão do Céu, Hidrolândia e Senador Canedo). Para todos estes municípios, a restrição é pelo facto de estarem com os aterros licenciados situados dentro da área urbana (menos de 3 km do perímetro urbano). Já o aterro do município de Rio Quente, que se situa em área sujeita a aprovação, foi excluído da possibilidade de ser a sede de um SGRU proposto porque está a menos de 8 km de um aeródromo, distância mínima de flexibilização entre o centro da Área de Segurança Aeroportuária (ASA) e um aterro (Lourenço, Silva, Sales, Medeiros, & Otero, 2015). Destes seis aterros, o que possui licença de operação mais longa é o aterro de Senador Canedo (SECIMA/GO, 2015), que finda em dezembro de 2020 (último mês antes do início da operação dos SGRU propostos).

Além disso, para atender todos os municípios goianos, e de modo a agrupá-los o máximo possível em SGRU partilhados, são propostos ainda 136 ET. A localização de cada ET, assim como os 47 municípios que atenderão aos 46 SGRU de Goiás (inclui-se aqui o aterro de Hidrolândia), nas 18 microrregiões do IBGE, estão apresentados na Figura 8-7. Os mapas individuais de cada um dos 46 SGRU que abrangem os 246 municípios goianos, com os MS, as ET, os perímetros urbanos e a malha rodoviária estão apresentados nas Figuras C.3-1 a C.3-46 do Anexo C.3.

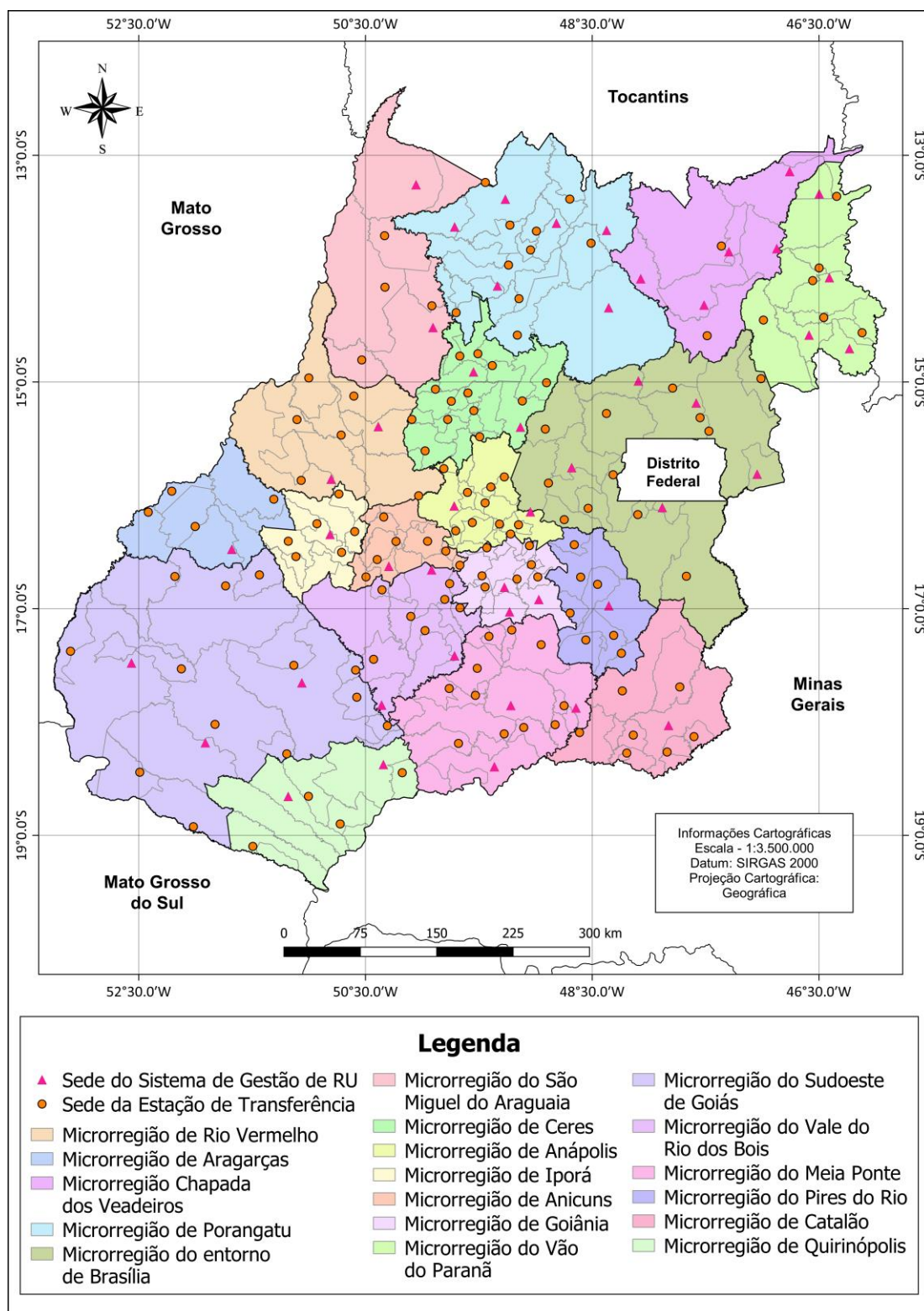


Figura 8-7: Municípios-sede dos sistemas de gestão de resíduos urbanos e das estações de transferência propostos para o Estado de Goiás, por microrregião.

Na Figura 8-8 estão apresentados os 246 municípios goianos distribuídos em:

- Municípios-sede dos SGRU propostos;

- Municípios-sede da ET propostas;
- Municípios que enviarão seus RU diretamente para um dos SGRU propostos;
- Municípios que enviarão seus RU para uma das ET propostas (para posteriormente serem enviados aos SGRU).

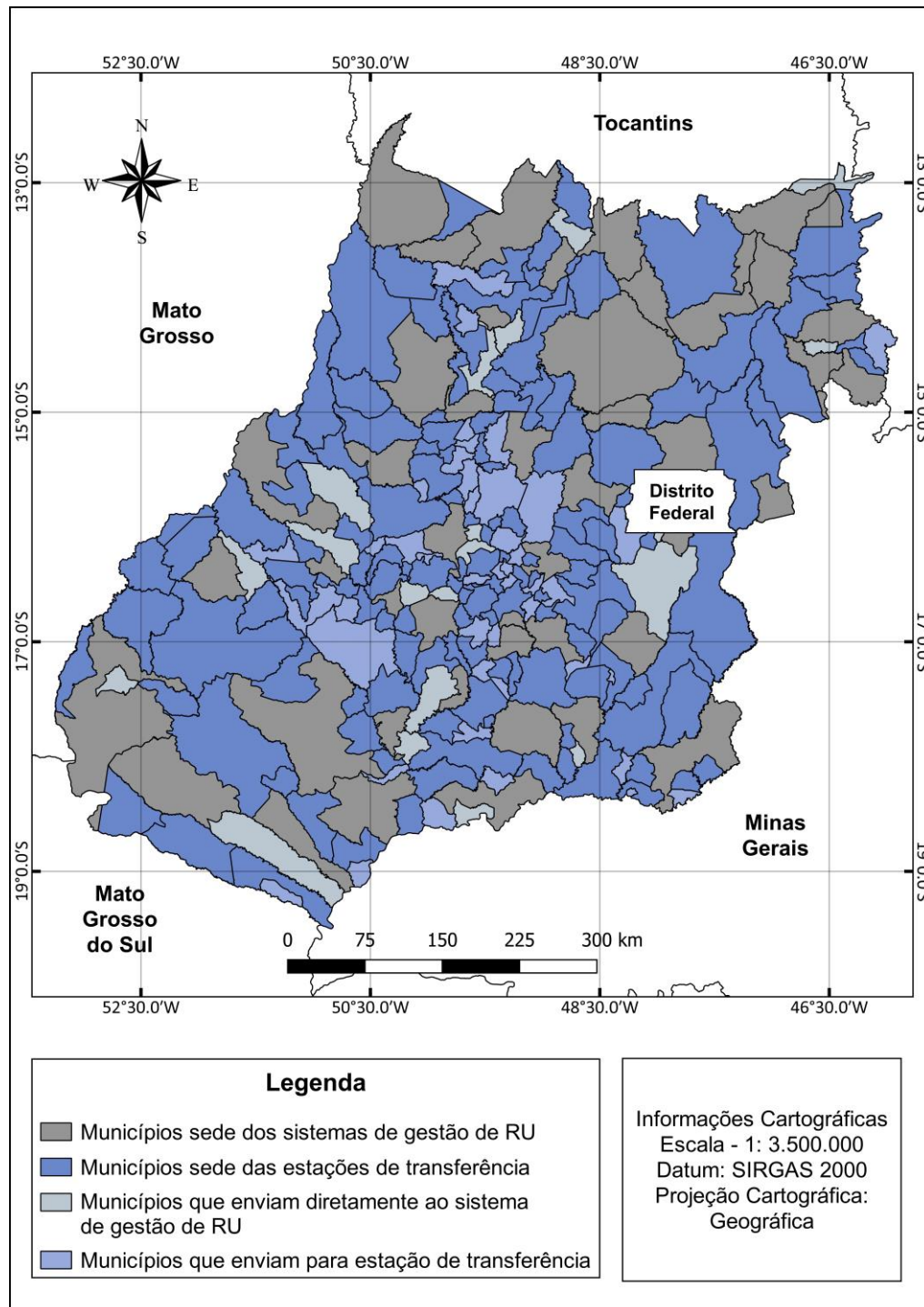


Figura 8-8: Municípios-sede e municípios não sede dos sistemas de gestão de resíduos urbanos e das estações de transferência propostos para o Estado de Goiás.

Salienta-se que a ligação rodoviária entre os municípios de Goiás ainda não é completamente pavimentada com asfalto. Em 2010, seis dos 246 municípios goianos ainda não estavam ligados com outros municípios por rodovia com pavimentação asfáltica (SEPLAN, 2010). Esta situação de ausência de ligação rodoviária pavimentada entre alguns municípios goianos foi identificada nos *shapefiles* do SIEG (2015) utilizados neste estudo. Cabe destacar que a pavimentação das malhas viárias é algo dinâmico, ou seja, pode haver situações em que os *shapefiles* indicam rodovias não pavimentadas e que na realidade há pavimentação asfáltica entre estes trechos. Foi o caso de Castelândia, que os *shapefiles* indicavam rodovias de ligação com outros municípios não pavimentadas, mas que na prática estão pavimentadas (situação que foi ajustada neste estudo).

Dessa forma, mesmo que os *shapefiles* das rodovias (que foram utilizados neste estudo) sejam os mais atualizados disponíveis, todas as ligações rodoviárias em que os *shapefiles* indicavam não haver pavimentação asfáltica, buscou-se confirmar estas informações através do *software Google Earth*. Esse procedimento permitiu que as informações fossem mais atualizadas, de forma que Castelândia passou a integrar o SGRU de Turvelândia ao invés de ter um SGRU individual. Salienta-se que admitiu-se um deslocamento máximo de até 5 km por estrada não pavimentada até os SGRU propostos, como é o caso de Cidade Ocidental, que tem um trecho de 4,3 km de rodovia não pavimentada na rodovia de acesso ao aterro (SIEG, 2015).

As distâncias (em quilômetros) que cada município terá que transportar seus resíduos (considerando-se os centros dos perímetros urbanos), seja diretamente ao SGRU ou para uma ET estão apresentadas na Tabela C.4-1 do Anexo C.4.

Quanto às características dos SGRU propostos, verificou-se que 54,3% destes sistemas terão entre dois e seis municípios, de modo a abranger 89 municípios goianos, conforme apresentado na Figura 8-9. Verifica-se que a maior parte dos sistemas que atenderão um maior número de municípios por SGRU está concentrado na faixa central do Estado de Goiás. Situação que ocorre, por exemplo, no município de Goiânia, capital de Goiás, que está contíguo com outros municípios como Aparecida de Goiânia, Senador Canedo e Trindade (SEGPLAN & SEPIN, 2011), e que possibilitou a proposição de um SGRU com 19 municípios. Sendo que o fator principal que permitiu a proposição de um SGRU com este quantitativo de municípios junto à Goiânia foi a proximidade geográfica

entre os municípios (distâncias de até 100 km) e pelo facto de haver rodovias pavimentadas com asfalto entre estes municípios.

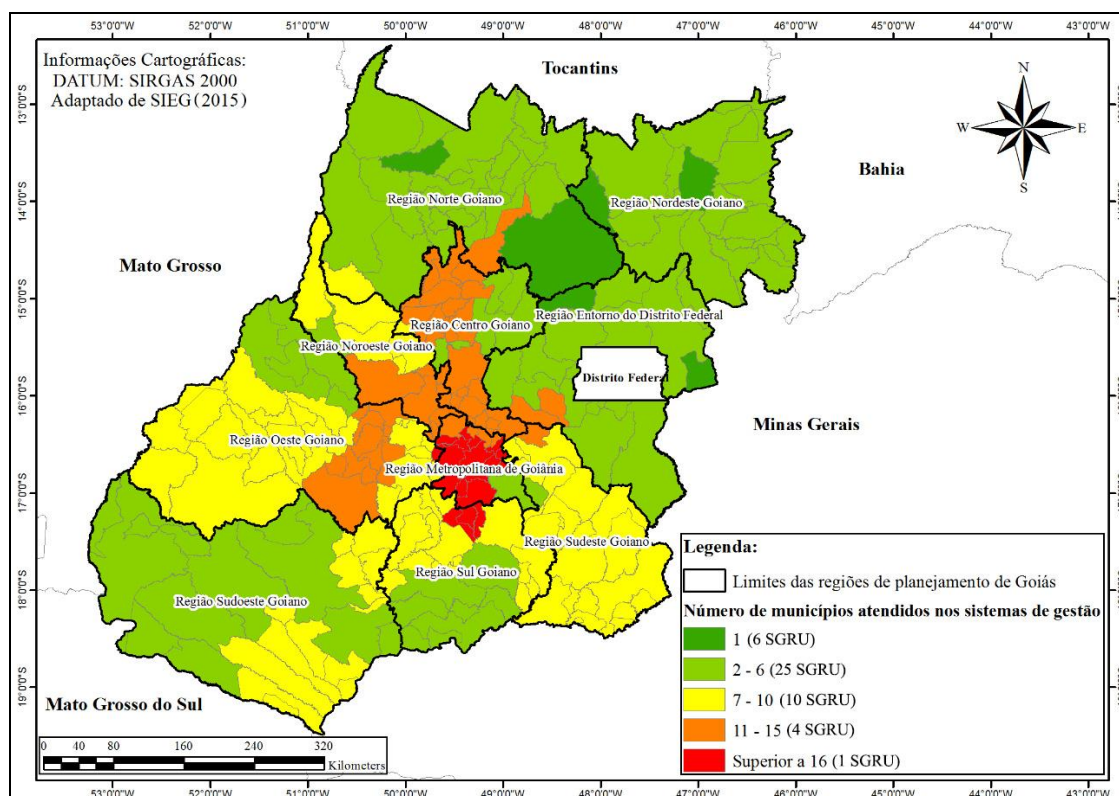


Figura 8-9: Quantitativo de municípios que serão atendidos nos 46 sistemas de gestão de resíduos urbanos propostos para o Estado de Goiás.

A proposta de municípios goianos a partilhar sistemas de gestão possibilitará que um maior quantitativo de resíduos seja tratado no mesmo SGRU, ou seja, haverá ganho de escala e, conseqüentemente, redução nos custos. Se forem tratar individualmente seus RU, em 2021, ano de início da operação dos SGRU propostos para Goiás, a estimativa é de que 220 (88,4%) municípios goianos terão menos que 50 mil habitantes (Colvero et al., 2017), os chamados municípios de pequeno porte (Araújo & Nunes, 2013). Juntos, a estimativa é que estes municípios possuirão 30,9% da população de Goiás. Entretanto, dos 46 SGRU propostos para Goiás, se implementados, 18 SGRU atenderão populações de até 50 mil habitantes, em 2021. Estes sistemas de gestão receberão os RU de 48 municípios goianos que juntos, possuirão 5,8% da população do Estado. Além disso, a maior parte da população goiana estará concentrada em um dos SGRU propostos, o de Aparecida de Goiânia, que atenderá em 2021 um total de 19 municípios e uma população superior a 2,4 milhões de habitantes, o que representará cerca de 35% da população estimada para

Goiás para 2021 (ver Tabela 8-4). Os demais 27 SGRU atenderão 179 municípios (sendo que somente um SGRU proposto será individual e os demais 26 SGRU serão partilhados), que juntos, perfazerão, em 2021; 59,2% da população goiana. Estes dados evidenciam a importância dos municípios goianos partilharem SGRU.

Ainda de acordo com as estimativas populacionais para 2021 (Colvero et al., 2017), os SGRU que atenderão um maior número de habitantes estão concentrados, obviamente, nos municípios que possuem maiores contingentes populacionais. Os três SGRU que atenderão o maior número de habitantes serão (em ordem decrescente): Aparecida de Goiânia, Cidade Ocidental e Anápolis, que possuirão 37 municípios e 51,6% da população de Goiás. Nestes três SGRU estão situados quatro dos cinco municípios goianos com maior densidade populacional. Na Figura 8-10 estão apresentados os SGRU, por número de habitantes, que serão atendidos em 2021.

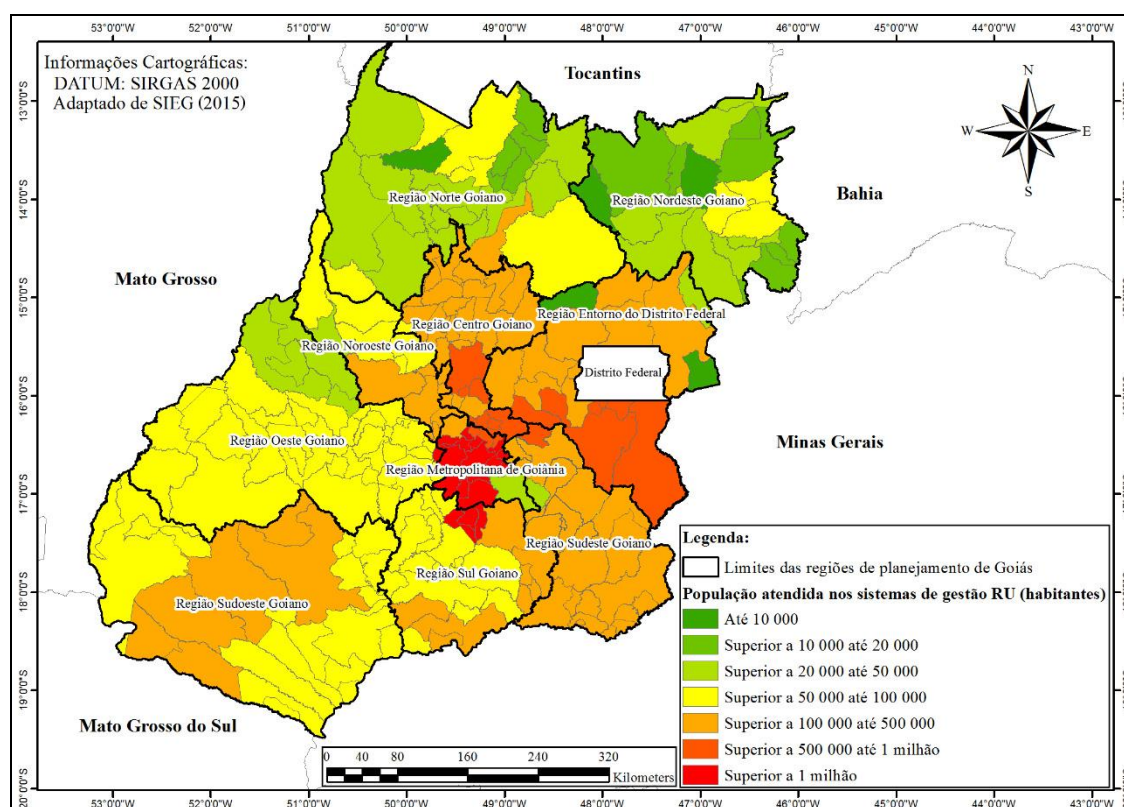


Figura 8-10: Estimativa da população que será atendida (habitantes), em 2021, nos 46 sistemas de gestão de resíduos urbanos propostos para o Estado de Goiás.

A partir de estimativas da geração de RU em Goiás para 2021 (Colvero et al., 2017), verifica-se que sete dos nove SGRU que irão tratar até 10 t-dia⁻¹ de RU estão concentrados nas microrregiões *Chapada dos Veadeiros*, *Porangatu* e *Vão do Paranã*, que

se situam no *Norte Goiano* e *Nordeste Goiano*. Em contrapartida, os SGRU que estão na capital Goiânia ou próximos a este município (caso do SGRU de Anápolis, que se situa a 59 km de Goiânia – SIEG (2015)), assim como os SGRU próximos à capital federal Brasília, são os que irão tratar os maiores quantitativos de RU (Figura 8-11).

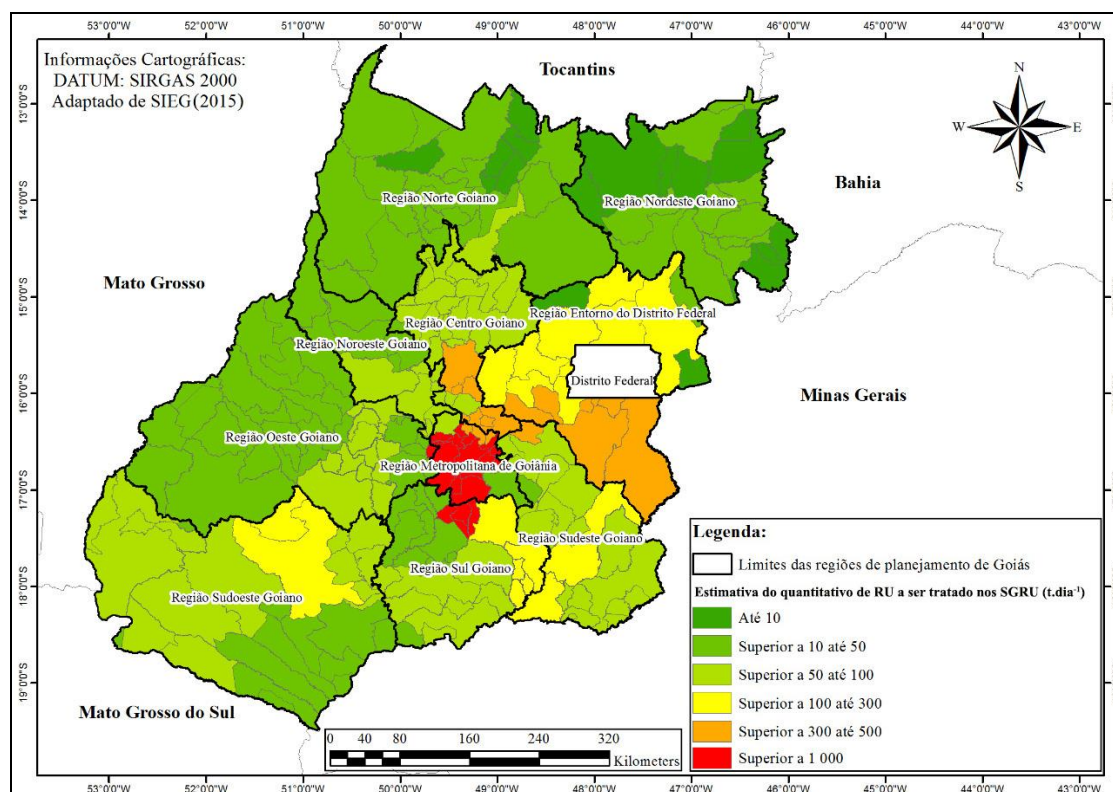


Figura 8-11: Quantitativos de RU (t.dia⁻¹) que serão tratados nos 46 SGRU propostos para o Estado de Goiás, de acordo a estimativa da produção de RU para 2021.

8.4. Considerações finais

Goiás possui cerca de 40% de sua área livre ou sujeita a aprovação para a instalação de aterros. Isso significa que, mesmo o Estado tendo uma área superior a 340 mil km², a definição de locais adequados para os SGRU de Goiás devem ser bem planejados. Um exemplo é a microrregião *Metropolitana de Goiânia*, que possui 78% de sua área restrita para a instalação de aterros.

Sendo que a delimitação das áreas livres ou sujeitas a aprovação, juntamente com a metodologia da geometria das massas (que foi utilizada para obter os CM das microrregiões do Estado) foram importantes para estabelecer a localização aproximada em que os SGRU propostos devem estar situados. A união destas metodologias possibilitará que o máximo de municípios goianos partilhem SGRU, que serão construídos em áreas adequadas e o mais

próximo possível dos centros produtores de RU, o que minimizará os custos com o transporte de RU, e certamente os impactos ambientais associados a este transporte.

A identificação dos 37 CM obtidos para as 18 microrregiões de Goiás possibilitou que fossem propostos 46 SGRU. Além disso, para satisfazer a condição de deslocamentos máximos de 25 km entre as fontes geradoras e os sistemas de tratamento de RU que estarão centralizados, foi necessário estabelecer 136 ET, que estarão a, no máximo, 100 km de algum SGRU. Salienta-se ainda que, cada um dos SGRU propostos precisará de um estudo e relatório de impacto ambiental antes de definir o local exato da construção de cada sistema de gestão. Sendo que a proposta é para que os sistemas de tratamento que irão recuperar parte dos RU sejam descentralizados ao nível de cada município, estando centralizadas as operações de tratamento dos RU que não forem desviados, ou seja, centralizar-se-ão os sistemas que irão tratar os refugos das operações locais e os resíduos da recolha indiferenciada.

Vale destacar que a união dos municípios de Goiás em 46 SGRU é uma proposta, que obviamente pode ser alterada de acordo com os interesses dos municípios. O mais importante foi a indicação de metodologias que visam otimizar a logística da gestão dos RU do Estado, o que pode promover uma economia nos custos e minimizar os impactos ambientais na gestão dos RU nos municípios de Goiás. Além disso, o intuito deste estudo foi apontar aos tomadores de decisão de Goiás que o caminho para a mudança no cenário da gestão dos RU do Estado passa por SGRU, prioritariamente, partilhados.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Brasil. O 1º autor, Diogo Appel Colvero, é investigador do CNPq, Processo n.º 207172/2014-5.

Referências Bibliográficas

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997). NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2017). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016*. <https://doi.org/ISSN 2179-8303>
- Araújo, F. T. V., & Nunes, A. B. A. (2013). A política nacional de resíduos sólidos, a meta de eliminação dos lixões e os desdobramentos nos estados brasileiros. In XXVII

- Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES.
- Arrais, T. P. A. (2002). Goiás: novas regiões, ou novas formas de olhar velhas regiões, in: Almeida, M.G. (Ed.), *Abordagens Geográficas de Goiás: O Natural E O Social Na Contemporaneidade*. UFG, Goiânia, pp. 1–25.
- Brasil. Constituição da República Federativa do Brasil. (1988). Brasília, DF, Brasil: Presidência da República. Casa Civil.
- Brasil. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. (2010). Brasília, DF: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm
- Brasil. Lei n.º 12.725, de 16 de outubro. (2012). Brasília, DF, Brasil: Dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12725.htm
- Bridi, E. (2008). Resíduos sólidos urbanos - uma proposta para otimização dos serviços de coleta e da disposição final (Master's thesis). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Retrieved from <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/14739>
- Chen, Y.-C., & Lo, S.-L. (2016). Evaluation of greenhouse gas emissions for several municipal solid waste management strategies. *J. Clean. Prod.* 113, 606–612. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.058>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., & Pfeiffer, S. C. (2015). Análise dos custos das rotas tecnológicas dos resíduos sólidos urbanos de Cidade Ocidental, Goiás. *Sodebrás*, 10(117), 196–204. Retrieved from <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N117.pdf>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. (2017). Municipal solid waste in Goiás (Brazil): current scenario and projections for the future. *Journal of Sedimentary Environments*, 2(3), 236–249. <http://doi.org/10.12957/jse.2017.31131>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., Matos, M. A. A. de, & Santos, K. A. dos. (2018). Use of a geographic information system to find areas for locating of municipal solid waste management facilities. *Waste Management*, (77), 500–515. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.036>
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no 428/2010, de 17 de dezembro. (2010). Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC). Retrieved from <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=641>
- EC – European Commission. (2008). *European Parliament and Council. Directive 2008/98/EC of 22 november 2008 on waste and repealing certain Directives*. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=PT>
- FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente, & Engebio Engenharia S/S Ltda. (2010). Estudo do estado da arte e análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica no estado de Minas Gerais - Relatório 1. Belo Horizonte,

MG, Brasil.

- Fernández-González, J. M., Grindlay, A. L., Serrano-Bernardo, F., Rodríguez-Rojas, M. I., & Zamorano, M. (2017). Economic and environmental review of Waste-to-Energy systems for municipal solid waste management in medium and small municipalities. *Waste Management*, 67, 360–374. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.003>
- Ferreira, W. A. de A., & Ferreira, N. C. (2014). Seleção Preliminar de áreas para instalação de aterros sanitários na região metropolitana de Goiânia, in: *Anais Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas*. Poços de Caldas/MG.
- Garcia, M. B. dos S., Lanzellotti Neto, J., Mendes, J. G., Xerfan, F. M. de F., Vasconcellos, C. A. B. de, & Friede, R. R. (2015). Resíduos sólidos: responsabilidade compartilhada. *Semioses*, 9(2), 77–91. <https://doi.org/10.15202/1981996X.2015v9n2p77>
- Gbanie, S. P., Tengbe, P. B., Momoh, J. S., Medo, J., & Kabba, V. T. S. (2013). Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. *Applied Geography*, 36, 3–12. <http://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.06.013>
- Gonçalves, M. de A., Vale, M. M. de A. A. V., & Gonçalves, A. H. (2016). Um estudo comparado entre a realidade brasileira e portuguesa sobre a gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos. *Sociedade & Natureza*, 28(1), 9–20. <http://doi.org/10.1590/1982-451320160101>
- Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), 220–232. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>
- Gupta, N., Yadav, K. K., & Kumar, V. (2015). A review on current status of municipal solid waste management in India. *Journal of Environmental Sciences*, 37, 206–217. <http://doi.org/10.1016/j.jes.2015.01.034>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). Goiás. Retrieved October 4, 2016, from <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?lang=&sigla=go>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2016). Estimativa da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1o de julho de 2015. Retrieved from http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_dou.sh tm
- IMB – Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. (2014). Estatísticas das Meso e Microrregiões do Estado de Goiás – 2013. Goiânia/GO.
- Lourenço, R. W., Silva, D. C. da C. e, Sales, J. C. A., Medeiros, G. A. de, & Otero, R. A. P. (2015). Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. *Ciência E Natura*, 37(4), 122–140. <http://doi.org/105902/2179460X15973>
- Matos, M. A., Gomes, A. P., Tarelho, L. A., Nunes, M. I., Teixeira, C. A., & Fonseca, A. S. (2012). Urban waste management recyclables model based on carbon footprint, in: 1st International AFRICA Sustainable Waste Management Conference. Lobito, Angola, pp. 1–10.

- Martins, R., & Martins, C. V. B. (2014). Modalidades da gestão das dimensões de resíduos sólidos urbanos em consórcios intermunicipais. *Revista Brasileira de Gestão E Desenvolvimento Regional*, 11(2), 192–215. Retrieved from <http://www.rbgdr.com/revista/index.php/rbgdr/article/view/1775>
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Portaria Interministerial no 60, de 24 de março (2015). Estabelece procedimentos administrativos em processos de licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Retrieved from http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/Portaria_Interministerial_60_de_24_de_marco_de_2015.pdf
- Nascimento, J. C. F. do. (2007). *Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos*. Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.18.2007.tde-10082007-132150>
- Oliveira, M. A. de, & Gonçalves, N. da S. (2015). *Estudo comparativo entre o aterro sanitário de Samambaia x lixão da Estrutural*. Universidade Católica de Brasília.
- Pereira, C. D., Franco, D., & Castilhos Júnior, A. B. de. (2013). Implantação de Estação de Transferência de Resíduos Sólidos Urbanos utilizando Tecnologia SIG. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 27(Março), 71–84. Retrieved from <https://www.yumpu.com/pt/document/fullscreen/51943509/edicao-27-marco-13-rbciamb>
- Ritter, E., Ferreira, J. A., Porto, R., & Lima, J. (2010). Contaminação de recursos hídricos: estudo de caso do lixão de São Pedro da Aldeia (RJ). *Estudos Tecnológicos Em Engenharia*, 6(2), 82–93. <http://doi.org/10.4013/ete.2010.62.03>. Acesso em: 04 jan. 2015.
- Romero, V., Marcuzzo, F. F. N., & Cardoso, M. R. D. (2014). Tendência do número de dias de chuva no Estado do Tocantins e a relação dos seus extremos com o índice oceânico Niño. *Boletim de Geografia*, 32(1), 1. <http://doi.org/10.4025/bolgeogr.v32i1.18235>
- Russo, M. A. T. (2003). Tratamento de resíduos sólidos. Universidade de Coimbra. Retrieved from http://www1.ci.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/Tratamentos_Residuos_Solidos.pdf
- SECIMA/GO – Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. (2015). Nota técnica – aterros sanitários. Goiânia/GO, Brasil.
- SEGPLAN – Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento, & SEPIN – Superintendência de Estatística Pesquisa e Informações Socioeconômicas. (2011). Dinâmica populacional de Goiás: uma análise do Censo 2010 do IBGE. Goiânia. Retrieved from http://www.imb.go.gov.br/down/dinamica_populacional_de_goiias.pdf
- SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás. Resolução n.º 005/2014 – CEMAm, de 26 de fevereiro. (2014). Goiânia/GO: Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental dos projetos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, na modalidade aterro sanitário, nos municípios do Estado de Goiás.

- SEPLAN – Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento do Estado de Goiás. (2010). Perfil Competitivo das Regiões de Planejamento do Estado de Goiás. Goiânia.
- SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. (2015). SIG – Shapefiles. Retrieved from <http://www2.sieg.go.gov.br/post/ver/171319>
- Silva, L. C., Roza, B. C., & Rathmann, R. (2012). Gestão de resíduos sólidos urbanos na cidade do Porto (Portugal): um exemplo de prática sustentável? *Rev. Gestão Soc. e Ambient.* 6, 60–78. <https://doi.org/10.5773/rgsa.v6i2.372>
- Suzuki, J. A. N., & Gomes, J. (2009). Consórcios intermunicipais para a destinação de RSU em aterros regionais: estudo prospectivo para os municípios no Estado do Paraná. *Engenharia Sanitária E Ambiental*, 14(2), 155–158. <http://doi.org/10.1590/S1413-41522009000200002>
- US EPA – United States Environmental Protection Agency. (2002). Waste Transfer Stations: a manual for decision-making. Washington. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/r02002.pdf>

9. Proposta de localização para sistemas de gestão de RU para a microrregião do Entorno do Distrito Federal, Goiás, Brasil

Resumo: Os municípios do Estado de Goiás, Brasil, não fazem uma adequada gestão dos seus resíduos urbanos (RU). Nos 20 municípios da microrregião do *Entorno do Distrito Federal (EDF)*, por exemplo, apenas dois municípios dispõem seus RU em aterro licenciado. Diante desse cenário, o objetivo deste estudo foi propor possíveis localizações de futuros sistemas de gestão de RU (SGRU) para os municípios da microrregião do *EDF*. Assim, utilizando-se um sistema de informação geográfica foram identificadas áreas livres de restrições para a instalação de aterros. Posteriormente, com a metodologia da geometria das massas se obteve os centros de massa (CM) para a microrregião do *EDF*, o que possibilitou se definir possíveis locais para serem instalados futuros SGRU nesta microrregião. Os resultados apontaram que a microrregião do *EDF* possui 40% de sua área apta para a instalação de aterros. De modo que, a partir dos CM, propõem-se cinco futuros SGRU para o *EDF*, sendo que dois municípios; por estarem a mais de 100 km do sistema de gestão mais próximo, ficarão com SGRU individuais, e os outros três SGRU serão compartilhados.

Palavras-Chave: Resíduos urbanos; sistemas de gestão; geometria das massas; microrregião do *Entorno do Distrito Federal*; Goiás; Brasil.

9.1. Introdução

A dificuldade em fazer a gestão adequada dos resíduos urbanos (RU) tem causado preocupação aos municípios no Brasil. Goiás é um dos Estados brasileiros que apresenta dificuldades em gerir seus RU. Segundo a Secretaria do Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos – SECIMA/GO, dos 246 municípios goianos, apenas 15 possuem aterros licenciados, o que dificulta a deposição final adequada dos refugos dos RU (SECIMA/GO, 2015). Estes aterros recebem os RU de 16 municípios goianos, pois Cidade Ocidental partilha seu sistema de deposição de RU com o município vizinho Valparaíso de Goiás (Colvero, Gomes, & Pfeiffer, 2015). Estes dois municípios que partilham o aterro estão localizados na microrregião de Goiás do *Entorno do Distrito Federal (EDF)*.

A alteração deste cenário dos RU em Goiás passa pela definição de estratégias de gestão dos RU que englobem uma avaliação dos aspectos técnicos, económicos, legais, além de levar em consideração o ambiente e a saúde humana (Guerrero, Maas, & Hogland, 2013; Soltani, Hewage, Reza, & Sadiq, 2015). O Estado precisa iniciar a mudança pela identificação de áreas apropriadas para a instalação de aterros, tendo em vista que os sistemas de tratamento de RU necessitam de um processo de eliminação dos resíduos que não são passíveis de reutilização ou valorização (Cherubini, Bargigli, & Ulgiati, 2009).

Além disso, a identificação das áreas disponíveis para os aterros auxiliará na definição dos sistemas de gestão de RU (SGRU) de uma determinada região de Goiás. Esses SGRU, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, devem preferencialmente atender a dois ou mais municípios (gestão partilhada), e precisam ser otimizados em termos de localização, para minimizar os custos com o transporte dos RU (Brasil, 2010; Chen & Lo, 2016). Conforme definido pelo Princípio da Autossuficiência e Proximidade, da Diretiva 2008/98/EC (EC, 2008), os futuros SGRU de Goiás devem estar estrategicamente centralizados entre os municípios. De modo que, com as instalações que irão tratar os resíduos sólidos próximas das fontes produtoras, haverá uma redução nas emissões associadas ao transporte dos RU (Silva, Roza, & Rathmann, 2012).

Assim, diante da necessidade de tecnologias de tratamento e deposição final de RU, o objetivo deste estudo foi propor possíveis localizações de futuros SGRU para a microrregião de Goiás do *EDF*. Optou-se pela microrregião do *EDF* por ser a segunda maior microrregião de Goiás em quantitativo populacional, além de ter apenas um aterro licenciado pela SECIMA/GO – que recebe os RU de dois municípios (IBGE, 2016; SECIMA/GO, 2015).

9.2. *Materiais e métodos*

9.2.1. Área de abrangência do estudo

O Estado de Goiás está situado na região Centro-Oeste do Brasil, e possui 246 municípios (Governo de Goiás, 2015). O Estado é dividido em 18 microrregiões, que são agrupamentos de municípios limítrofes que visam decidir acerca da localização de atividades económicas e sociais, assim como aprovar estudos acerca da planificação e identificação de estruturas a serem instaladas em zonas urbanas e rurais como, por exemplo, SGRU (IMB, 2014).

Uma das 18 microrregiões de Goiás é a microrregião do *EDF*, que conta com 20 municípios, e que em 2015 possuía 1 185 247 habitantes (IBGE, 2016; IMB, 2014). Esta microrregião é a segunda maior produtora de RU de Goiás, estando atrás apenas da microrregião da *Metropolitana de Goiânia*, onde está situada a capital do Estado (Colvero, Gomes, Tarelho, & Matos, 2017). O *EDF* tem uma densidade populacional 1,6 vezes maior que a densidade média de Goiás (Tabela 9-1). Esta densidade populacional se explica pelo facto de que os municípios da microrregião do *EDF* circundam a capital federal Brasília, fazendo desses municípios locais dormitório (SEGPLAN & SEPIN, 2011).

Tabela 9-1: Número de municípios, área, população e produção de resíduos urbanos no Estado de Goiás e na microrregião do *Entorno do Distrito Federal*.

Microrregião	N.º de municípios	Área (km ²)	População 2015 estimativa IBGE (habitantes)	Produção de RU em 2015 (t·dia ⁻¹)	Densidade populacional (hab·km ⁻²)
<i>EDF</i>	20	38 108	1 185 247	800	31,1
Estado de Goiás	246	340 111	6 610 681	5 829	19,4

Fonte: Adaptado de SEGPLAN (2013), IMB (2014), IBGE (2016), IBGE (2015) e DATASUS (2016).

A microrregião do *EDF* faz vizinhança com oito microrregiões: *Anápolis*, *Catalão*, *Ceres*, *Chapada dos Veadeiros*, *Metropolitana de Goiânia*, *Pires do Rio*, *Porangatu* e *Vão do Paranã* (IMB, 2014). De modo que, apesar deste estudo estabelecer uma proposta de futuros SGRU para os municípios da microrregião do *EDF*, poderá haver municípios de microrregiões vizinhas que integrarão os sistemas de gestão propostos para o *EDF*, ou municípios do *EDF* a integrar SGRU de microrregiões vizinhas. O que definirá esta questão será a proximidade dos municípios para os sistemas de gestão.

9.2.2. Identificação das áreas aptas para a instalação de aterros na microrregião do *EDF*

Primeiramente identificaram-se as áreas livres, sujeitas a aprovação ou com restrições para a instalação de sistemas de deposição final de RU na microrregião do *EDF*. De acordo com Ferreira & Ferreira (2014), o mapeamento das áreas livres para a instalação de sistemas de deposição final de RU deve ser baseado nos aspetos ambientais e nos critérios de distâncias.

Diante disso, utilizaram-se cinco documentos legais brasileiros que fixam parâmetros para as áreas disponíveis para a construção de aterros (Tabela 9-2). São diretrizes que estabelecem as distâncias mínimas dos aterros para: áreas com específico uso ou ocupação do solo; determinadas comunidades; áreas de preservação ambiental; recursos

hídricos; aeródromos, além dos quantitativos de RU gerados pelos municípios (Gorsevski, Donevska, Mitrovski, & Frizado, 2012).

Com as restrições definidas na legislação e nas normativas, e com um sistema de informação Geográfica (SIG) – a ferramenta *ArcGIS*, versão 10.3.1 – foram identificadas as áreas adequadas para se construir aterros, assim como nos estudos de Chang, Parvathinathan, & Breeden (2008), Gorsevski et al. (2012) e Ferreira & Ferreira (2014). O SIG é uma tecnologia na qual dados são recolhidos, armazenados, geridos, integrados, manipulados e analisados (Hannan, Al Mamun, Hussain, Basri, & Begum, 2015).

Tabela 9-2: Critérios restritivos e sujeitos a aprovação para a instalação de aterros na microrregião do *Entorno do Distrito Federal*.

Critério	Valores restritivos para a instalação de aterros	Documentos legais
Distância do perímetro urbano	Mínimo 3 km	Resolução CEMAm n.º 05/2014
Declividade do terreno	Menor que 1% e maior que 20%	NBR ABNT n.º 13896/1997 e Resolução CEMAm n.º 05/2014
Distância de corpos hídricos superficiais	Mínimo 0,3 km de quaisquer corpos hídricos Mínimo 0,5 km de corpos hídricos utilizados para abastecimento Mínimo 2,5 km do ponto de captação para abastecimento público	Resolução CEMAm n.º 05/2014
Distância de unidades de conservação	Mínimo 3 km a partir do limite da unidade de conservação (distância sujeita a aprovação)	Resolução CONAMA n.º 428/2010 e Resolução CEMAm n.º 05/2014
Distância de aeródromos	Mínimo 20 km (distância sujeita a aprovação)	Lei Federal n.º 12725/2012
Presença de vegetação nativa remanescente	Preferencialmente deve se situar fora de reserva legal e em local que, de preferência, não haja a necessidade de desmatar	Resolução CEMAm n.º 05/2014
Terras quilombolas e terras indígenas	Mínimo 8 km (distância sujeita a aprovação)	Portaria Interministerial n.º 60/2015, do Ministério do Meio Ambiente

Fonte: Adaptado de ABNT (1997), Brasil (2012), CONAMA (2010), MMA (2015) e SEMARH/GO (2014).

9.2.3. Municípios goianos geograficamente centralizados na microrregião do *EDF*

Conhecendo-se as áreas disponíveis para a instalação de sistemas de deposição final de RU, estabeleceu-se o segundo critério para a escolha do SGRU, que é a localização geográfica. A definição dos municípios que farão parte de cada um dos SGRU propostos

ocorreu pela proximidade geográfica, sendo que para isso foi necessário calcular o centro de massa (CM) da microrregião do *EDF* e das oito microrregiões vizinhas ao *EDF*. Isso significa que algum município do *EDF* pode fazer parte de um sistema de outra microrregião, assim como o município de outra microrregião poderá integrar algum SGRU proposto para a microrregião do *EDF*. Os municípios-sede (MS) dos SGRU serão aqueles geograficamente centralizados em cada uma das nove microrregiões avaliadas, sendo que é necessário que possuam interligação com rodovias com pavimentação asfáltica (Russo, 2003). Uma rede rodoviária de qualidade e a existência de instalações de gestão de RU reduzem o tempo de recolha e transporte de RU e, naturalmente, os custos da gestão (Guerrero et al., 2013).

Salienta-se que, devido às grandes distâncias rodoviárias entre os municípios, em algumas das nove microrregiões analisadas foi necessário agrupar os municípios dentro das microrregiões, quer dizer, obteve-se mais de um CM para a mesma microrregião. O intuito desta divisão dentro das microrregiões foi obter associações entre municípios que estejam próximos entre si.

Para se obter os CM das microrregiões utilizou-se a metodologia da geometria das massas, que usa as coordenadas x e y e a produção de RU de cada município que compõe a região em que se deseja encontrar o CM. As coordenadas geográficas usadas foram as dos centros dos perímetros urbanos dos municípios, enquanto que os quantitativos de RU foram os obtidos em estudo de Colvero et al. (2017). Os cálculos dos CM foram efectuados a partir das Equações 9.1 e 9.2 (Pereira, Franco, & Castilhos Júnior, 2013; Russo, 2003).

$$x = \frac{\sum (x_i \cdot P_i)}{\sum P_i} \text{ (Equação 9-1)}$$

$$y = \frac{\sum (y_i \cdot P_i)}{\sum P_i} \text{ (Equação 9-2)}$$

Em que:

x – longitude; y – latitude; x_i e y_i – coordenadas geográficas dos centros de produção de resíduos (centro geográfico da área urbana dos municípios), em coordenadas UTM; P_i – produção média diária de RU de cada município, em $t \cdot dia^{-1}$. Dessa forma, com os valores de x e y é possível se obter a coordenada geográfica em que se localiza o CM de uma região de interesse.

Definir o CM reduzirá os custos com o transporte de RU, pois os SGRU situar-se-ão mais perto dos centros produtores destes resíduos (Bridi, 2008; Pereira et al., 2013).

9.2.4. Distâncias dos SGRU para os demais municípios integrantes do sistema de gestão

Escolhidos os CM, e consequentemente os SGRU (e seus MS), definiu-se para onde os municípios não sede (MNS) enviarão seus RU, tendo em vista que estes terão mais de uma opção de SGRU a escolher. Dessa forma, o SGRU escolhido para cada MNS será aquele mais próximo (via deslocamento por rodovias com pavimentação asfáltica).

A distância máxima entre o SGRU do MS e os MNS deverá ser de 25 km (Chen & Lo, 2016; FEAM & Engebio, 2010). Essa distância foi definida de modo a limitar em uma hora o tempo despendido pelo veículo de recolha para transportar os RU até o SGRU, já que estes veículos se deslocam a uma velocidade média de $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, e deverão fazer o trajeto de ida e volta até a fonte geradora de RU (Suzuki & Gomes, 2009).

Os MNS com distâncias rodoviárias superiores a 25 km dos SGRU encaminharão seus resíduos para uma estação de transferência (ET). Das ET os RU serão encaminhados para o SGRU. A distância máxima entre os MNS e as ET deverá ser de 25 km. Enquanto que da ET para o SGRU haverá, no máximo, 100 km de distância (FEAM & Engebio, 2010). Definiram-se por ET a partir dos 25 km porque esta distância é o ponto de viragem, ou seja, para distâncias superiores a 25 km entre o centro gerador de RU e o SGRU, torna-se vantajoso economicamente ter uma ET (US EPA, 2002).

9.3. Resultados e discussão

9.3.1. Áreas restritas, sujeitas a aprovação ou livres para a instalação de aterros

A microrregião do *EDF* possui 60% de toda a sua extensão territorial restrita e 24% área livre para a instalação de aterros (Tabela 9-3). Os outros 16% dependem de autorização do órgão de controle ambiental (OCA) para que aterros sejam construídos. Nos municípios de Águas Lindas de Goiás, Novo Gama e Valparaíso de Goiás não há área livre para a instalação de aterros. Na microrregião do *EDF* foram identificados 17 sistemas de deposição final de RU não licenciados, sendo 14 lixeiras e três aterros. Dentre estes sistemas de deposição final de RU não licenciados existentes no *EDF*, 11 estão em áreas restritas, quatro em áreas sujeitas a aprovação e dois em área livre para a instalação de aterros. Além disso, identificou-se somente um aterro licenciado pela SECIMA/GO na microrregião do *EDF*, situado em área sujeita a aprovação do OCA, no município de Cidade Ocidental.

Tabela 9-3: Produção de RU (em t·dia⁻¹) e áreas (em km² e em %) com restrições, sujeitas a aprovação e livres para instalação e operação de aterro, na microrregião *EDF*.

Microrregião	Área total	Área restrita		Área sujeita a aprovação		Área livre	
	km ²	km ²	%	km ²	%	km ²	%
<i>EDF</i>	38 108	22 879	60,0	6 133	16,1	9 096	23,9

9.3.2. Proposta de municípios-sede dos sistemas de gestão de RU de Goiás

A partir da aplicação da metodologia da geometria das massas na microrregião do *EDF* e nas oito microrregiões vizinhas, e utilizando-se apenas áreas livres ou sujeitas a aprovação para a instalação de sistemas de deposição final de RU, propuseram-se cinco SGRU para atender aos municípios da microrregião do *EDF*. Estes sistemas atenderão 16 dos 20 municípios do *EDF*. Os demais quatro municípios farão parte de outros três sistemas de microrregiões vizinhas ao *EDF*: Abadiânia e Alexânia farão parte do SGRU de Anápolis (que está na microrregião de *Anápolis*); Vila Boa integrará o SGRU de Alvorada do Norte (na microrregião do *Vão do Paranã*) e; Vila Propício fará parte do SGRU de Goianésia (na microrregião de *Ceres*). Essa definição ocorreu porque estes quatro municípios estão mais próximos de SGRU de municípios situados em microrregiões vizinhas ao *EDF* do que de sistemas de gestão do próprio *EDF*.

Na Figura 9-1 estão apresentados os cinco SGRU propostos para a microrregião do *EDF*. De modo a garantir que o maior número de municípios partilhe o mesmo sistema com menores custos com transporte, foram propostas ainda oito ET para os SGRU do *EDF*. Salienta-se ainda, que esta microrregião foi dividida em três partes, ou seja, foram obtidos três CM. Entretanto, dois municípios (Cabeceiras e Mimoso de Goiás) ficaram a mais de 100 km do SGRU mais próximo, de modo que a proposta é que estes municípios tenham SGRU individuais.

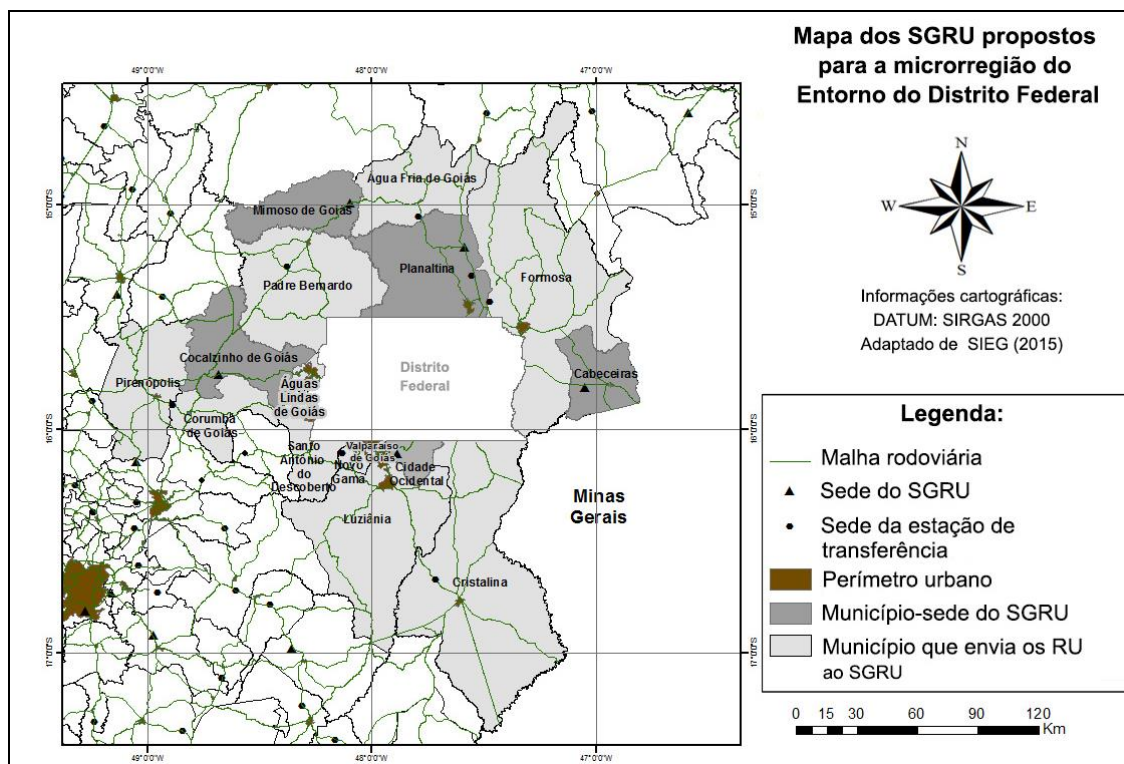


Figura 9-1: Sistemas de gestão de resíduos urbanos propostos para a microrregião do *EDF*.

Cada um dos cinco SGRU propostos (ver Figura 9-1) estão apresentados individualmente nas Figuras C.3-8, C.3-12, C.3-13, C.3-27 e C.3-37 do Anexo C.3.

Na Tabela 9-4 estão apresentados os municípios e as coordenadas geográficas em que se propõe situar cada um dos cinco SGRU para a microrregião do *EDF*, assim como a justificativa para a escolha destes locais.

Tabela 9-4: Municípios-sede dos sistemas de gestão de RU da microrregião do *EDF*.

Município	Coordenadas geográficas dos SGRU propostos	Justificativa da escolha do município-sede
Cabeceiras	-15.8130; -47.0451	Município escolhido como MS de um SGRU porque está a mais de 100 km de distância do SGRU mais próximo (SGRU de Planaltina), por isso, terá um SGRU individual. Cabeceiras possui 56,6% de área livre e 16,5% de área sujeita a aprovação para a instalação de aterro
Cidade Ocidental	-16.1070; -47.8824	Município escolhido porque já possui um aterro licenciado pela SECIMA/GO (e que será o aterro utilizado pelo SGRU proposto) que está situado em área sujeita a aprovação para a instalação e operação de aterro. Cidade Ocidental é município vizinho de Luziânia, um dos três municípios CM da microrregião do <i>EDF</i> . Este SGRU receberá os RU de cinco municípios: Cidade Ocidental (MS), Cristalina, Luziânia, Novo Gama e Valparaíso de Goiás, sendo estes três últimos municípios com mais de 100 mil habitantes. Cidade Ocidental

Município	Coordenadas geográficas dos SGRU propostos	Justificativa da escolha do município-sede
Cocalzinho de Goiás	-15.7555; -48.6810	possui 6,4% de área livre e 14,3% de área sujeita a aprovação para a instalação de aterro. Um dos três municípios CM da microrregião do <i>EDF</i> , com 17,2% de área livre e 16,4% de área sujeita a aprovação para a instalação de aterro. Este SGRU receberá os RU de seis municípios: Águas Lindas de Goiás (segundo maior gerador de RU da microrregião do <i>EDF</i>), Cocalzinho de Goiás (MS), Corumbá de Goiás, Padre Bernardo, Pirenópolis e Santo Antônio do Descoberto.
Mimoso de Goiás	-14.9905; -48.0929	Município escolhido porque está a mais de 100 km de distância do SGRU mais próximo (SGRU de Cocalzinho de Goiás) e porque não possui rodovia com pavimentação asfáltica que faça ligação com o município mais próximo, Padre Bernardo. A falta de malha rodoviária com asfalto, de acordo com as definições pré-estabelecidas neste estudo, impede o envio dos RU para a ET de Padre Bernardo, para depois serem enviados ao SGRU proposto para Planaltina. Dessa forma, propõe-se que este município tenha um SGRU individual. Mimoso de Goiás possui 11,4% de área livre e 24,7% de área sujeita a aprovação para a instalação de aterro.
Planaltina	-15.1854; -47.5826	Município com 12,4% de área livre e 4,1% de área sujeita a aprovação para a instalação de aterro. Este SGRU receberá os RU de três municípios: Água Fria de Goiás, Formosa e Planaltina (MS), sendo que estes dois últimos municípios são os maiores geradores de RU do norte do <i>EDF</i> . O terceiro e último CM identificado para o <i>EDF</i> se situa em Formosa, na fronteira com Planaltina. Como os municípios de Cabeceiras e Mimoso de Goiás terão SGRU individuais, se realocou o SGRU para Planaltina, pois é o município centralizado entre os outros dois municípios que integram este SGRU.

As áreas livres, sujeitas a aprovação e restritas para a instalação de aterros nos 16 municípios atendidos pelos cinco SGRU propostos para a microrregião do *EDF*, estão apresentadas na Figura 9-2. Estima-se que nestes 16 municípios haja 39,8% de áreas livres ou sujeitas a aprovação para a instalação de aterros, o que dificultou, por exemplo, a definição da sede do SGRU de Planaltina, pois neste município há uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável. Desse modo, somente 16,5% da área de Planaltina é livre ou sujeita a aprovação para instalação de aterro.

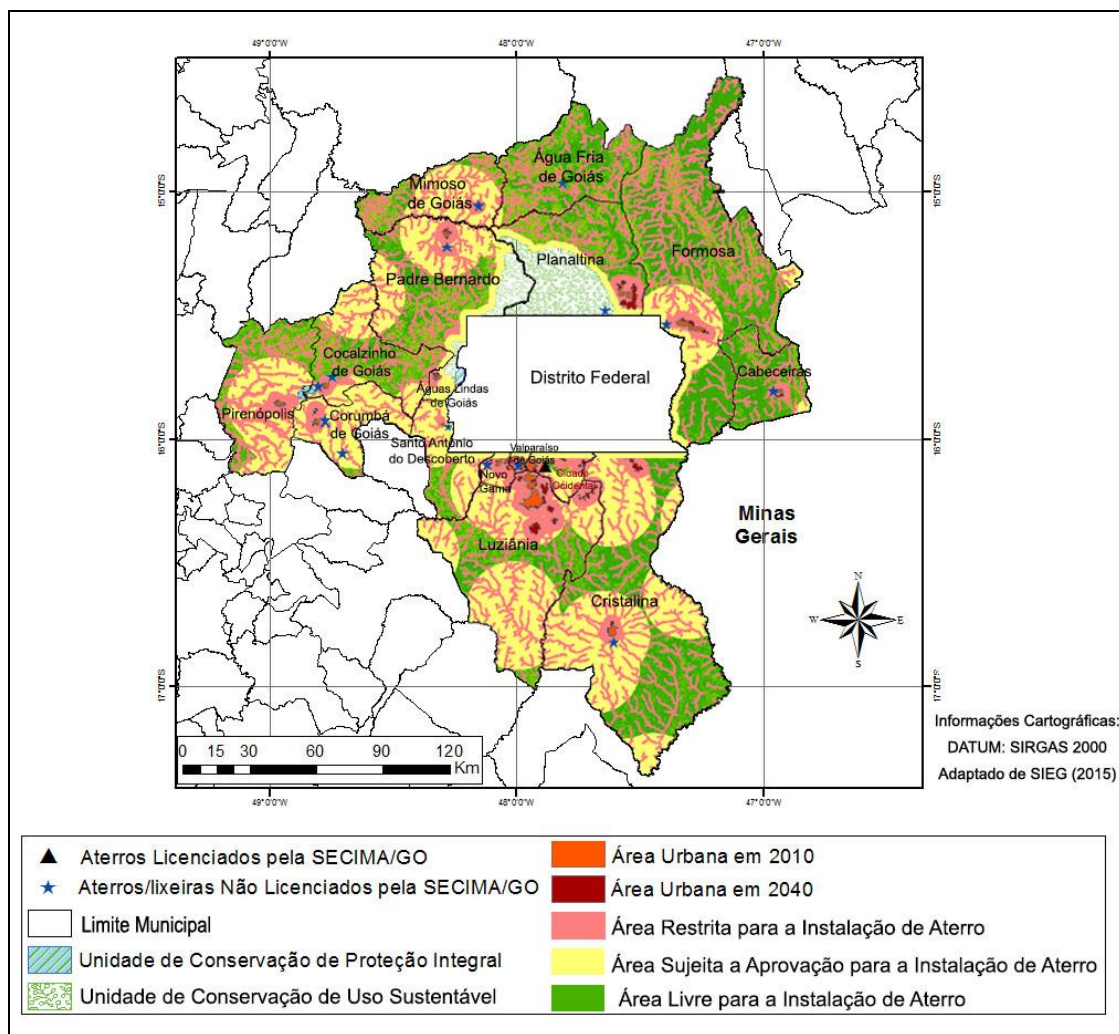


Figura 9-2: Áreas livres, sujeitas a aprovação e restritas para a instalação de sistemas de deposição final de RU nos 16 municípios que integrarão os SGRU propostos para a microrregião do *EDF*.

Conforme definido pela PNRS, os sistemas de gestão de resíduos sólidos devem ser propostos para um horizonte temporal de 20 anos (Brasil, 2010). Desse modo, considerou-se neste estudo que os SGRU propostos operem entre 2021 e 2040.

A população total e a produção de RU nos municípios que integrarão cada SGRU, no ano de 2021, além do número de municípios em cada um dos sistemas de gestão propostos para os municípios da microrregião do *EDF* estão apresentados na Tabela 9-5. Cocalzinho de Goiás terá um SGRU que atenderá seis municípios, enquanto que o SGRU de Cidade Ocidental terá cinco municípios e o SGRU de Planaltina três municípios. Já os municípios de Cabeceiras e de Mimoso de Goiás terão SGRU individuais. Estima-se que os 14 municípios que irão a partilhar três dos cinco SGRU propostos para o *EDF* produzirão em 2021 cerca de

858 t·dia⁻¹ de RU e 978 t·dia⁻¹ em 2040, ou seja, estima-se que em 20 anos haja um crescimento de 14% na produção de RU (Colvero et al., 2017).

Salienta-se ainda que, a partir de estudo de Matos et al. (2012), o intuito é que os municípios partilhem as tecnologias que irão tratar os resíduos que não forem desviados como, por exemplo, o aterro. Entretanto, os sistemas de tratamento que tenham como objetivo recuperar parte dos resíduos sólidos (triagem, compostagem, digestão anaeróbia) serão descentralizados, ou seja, cada município terá sua operação local.

Tabela 9-5: Município-sede, população atendida, produção atual de RU e número de municípios que compõem cada um dos sistemas de gestão de RU para a microrregião do *EDF*.

Município-sede do sistema de gestão de RU	Estimativa da população total dos municípios para cada SGRU proposto, em 2021 (habitantes)	Estimativa da produção de RU em 2021 (t·dia ⁻¹)	Quantitativo de municípios atendidos
Cabeceiras	7 893	4,0	1
Cidade Ocidental	605 918	449,5	5
Cocalzinho de Goiás	352 574	250,8	6
Mimoso de Goiás	2 665	1,2	1
Planaltina	220 934	157,8	3

9.4. Considerações finais

A delimitação das áreas livres ou sujeitas a aprovação, aliada à metodologia da geometria das massas foi importante para definir a localização aproximada em que os futuros SGRU propostos para a microrregião do *EDF* devem ser instalados.

A microrregião do *EDF* possui cerca de 40% da sua área livre ou sujeita a aprovação para a instalação de aterros. Isso significa que a definição de locais adequados para os SGRU do *EDF* devem ser bem planejados. Principalmente nos municípios que não possuem áreas livres, como é o caso de Águas Lindas de Goiás, Novo Gama e Valparaíso de Goiás.

A metodologia da geometria das massas possibilitou a otimização da logística da gestão dos RU da microrregião do *EDF*. De modo que estabeleceram-se para esta microrregião cinco SGRU, sempre considerando deslocamentos máximos de 25 km para aqueles municípios que enviarão diretamente seus RU para o SGRU e de até 100 km para aqueles que possuirão ET. Destaque também para a definição de possíveis coordenadas geográficas para os futuros SGRU e para as ET. Ressalta-se ainda que cada um dos SGRU propostos para a microrregião do *EDF* precisará de um estudo e relatório de impacto ambiental. Só assim será possível estabelecer o local exato de cada sistema. De qualquer

modo, este estudo será de grande relevância para os municípios da microrregião do *EDF*, assim como para os demais municípios goianos, pois aponta como identificar áreas adequadas para a instalação de futuros SGRU.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Brasil. O 1º autor, Diogo Appel Colvero, é investigador do CNPq, Processo n.º 207172/2014-5.

Referências bibliográficas

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997). NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro.
- Brasil. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. (2010). Brasília, DF: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm
- Brasil. Lei n.º 12.725, de 16 de outubro. (2012). Brasília, DF, Brasil: Dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12725.htm
- Bridi, E. (2008). Resíduos sólidos urbanos – Uma proposta para otimização dos serviços de coleta e da disposição final (Master's thesis). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Retrieved from <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/14739>
- Chang, N.-B., Parvathinathan, G., & Breeden, J. B. (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 139–153. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.011>
- Chen, Y.-C., & Lo, S.-L. (2016). Evaluation of greenhouse gas emissions for several municipal solid waste management strategies. *J. Clean. Prod.* 113, 606–612. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.058>
- Cherubini, F., Bargigli, S., & Ulgiati, S. (2009). Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, 34(12), 2116–2123. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2008.08.023>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., & Pfeiffer, S. C. (2015). Análise dos custos das rotas tecnológicas dos resíduos sólidos urbanos de Cidade Ocidental, Goiás. *Sodebrás*, 10(117), 196–204. Retrieved from <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N117.pdf>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. (2017). Municipal solid waste in Goiás (Brazil): current scenario and projections for the future. *Journal of Sedimentary Environments*, 2(3), 236–249. <http://doi.org/10.12957/jse.2017.31131>
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no 428/2010,

- de 17 de dezembro. (2010). Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC). Retrieved from <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=641>.
- DATASUS – Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. (2016). População residente Goiás - 2012-2015. Retrieved from <http://datasus.saude.gov.br/>
- EC – European Commission. (2008). *European Parliament and Council. Directive 2008/98/EC of 22 november 2008 on waste and repealing certain Directives*. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=PT>
- FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente, & Engebio Engenharia S/S Ltda. (2010). Estudo do estado da arte e análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica no estado de Minas Gerais - Relatório 1. Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Ferreira, W. A. de A., & Ferreira, N. C. (2014). Seleção Preliminar de áreas para instalação de aterros sanitários na região metropolitana de Goiânia, in: Anais Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. Poços de Caldas/MG.
- Gorsevski, P. V., Donevska, K. R., Mitrovski, C. D., & Frizado, J. P. (2012). Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average. *Waste Management*, 32(2), 287–296. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.023>
- Governo de Goiás. (2015). Conheça Goiás – Localização. Retrieved October 28, 2016, from <http://www.goias.gov.br/paginas/conhecagoias/localizacao>
- Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), 220–232. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>
- Hannan, M. A., Al Mamun, M. A., Hussain, A., Basri, H., & Begum, R. A. (2015). A review on technologies and their usage in solid waste monitoring and management systems: Issues and challenges. *Waste Management*, 43, 509–523. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.033>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015). Área territorial brasileira. Retrieved from: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2016). Estimativa da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1o de julho de 2015. Retrieved from http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_dou.shtm
- IMB – Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. (2014). Estatísticas das Meso e Microrregiões do Estado de Goiás – 2013. Goiânia/GO.
- Matos, M. A., Gomes, A. P., Tarelho, L. A., Nunes, M. I., Teixeira, C. A., & Fonseca, A. S. (2012). Urban waste management recyclables model based on carbon footprint, in: 1st International AFRICA Sustainable Waste Management Conference. Lobito,

- Angola, pp. 1–10.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Portaria Interministerial no 60, de 24 de março (2015). Estabelece procedimentos administrativos em processos de licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Retrieved from http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/Portaria_Interministerial_60_de_24_de_marco_de_2015.pdf
- Pereira, C. D., Franco, D., & Castilhos Jr., A. B. de. (2013). Implantação de Estação de Transferência de Resíduos Sólidos Urbanos utilizando Tecnologia SIG. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 27(Março), 71–84. Retrieved from <https://www.yumpu.com/pt/document/fullscreen/51943509/edicao-27-marco-13-rbciamb>
- Russo, M. A. T. (2003). Tratamento de resíduos sólidos. Universidade de Coimbra. Retrieved from http://www1.ci.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/Tratamentos_Residuos_Solidos.pdf
- SECIMA/GO – Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. (2015). Nota técnica – aterros sanitários. Goiânia/GO, Brasil.
- SEGPLAN – Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento, & SEPIN – Superintendência de Estatística Pesquisa e Informações Socioeconômicas. (2011). Dinâmica populacional de Goiás: uma análise do Censo 2010 do IBGE. Goiânia. Retrieved from http://www.imb.go.gov.br/down/dinamica_populacional_de_goiias.pdf
- SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás. Resolução n.º 005/2014 – CEMAm, de 26 de fevereiro. (2014). Goiânia/GO: Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental dos projetos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, na modalidade aterro sanitário, nos municípios do Estado de Goiás.
- SEGPLAN – Secretaria de Gestão e Planejamento do Estado de Goiás. (2013). *Regiões de Planejamento do Estado de Goiás*. Goiânia/GO.
- Silva, L. C., Roza, B. C., & Rathmann, R. (2012). Gestão de resíduos sólidos urbanos na cidade do Porto (Portugal): um exemplo de prática sustentável? *Rev. Gestão Soc. e Ambient.* 6, 60–78. <https://doi.org/10.5773/rgsa.v6i2.372>
- Soltani, A., Hewage, K., Reza, B., & Sadiq, R. (2015). Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of municipal solid waste management: A review. *Waste Management*, 35, 318–328. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.010>
- Suzuki, J. A. N., & Gomes, J. (2009). Consórcios intermunicipais para a destinação de RSU em aterros regionais: estudo prospectivo para os municípios no Estado do Paraná. *Engenharia Sanitária E Ambiental*, 14(2), 155–158. <http://doi.org/10.1590/S1413-41522009000200002>
- US EPA – United States Environmental Protection Agency. (2002). *Waste Transfer Stations: a manual for decision-making*. Washington. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/r02002.pdf>

10. Avaliação ambiental das alternativas tecnológicas para a gestão dos resíduos urbanos no Brasil

Resumo: Utilizou-se uma avaliação do ciclo de vida para analisar e comparar três diferentes classes de sistemas de gestão de resíduos urbanos (RU) no Brasil: *Classe 1*: recolha indiferenciada e eliminação direta, em lixeira, aterro ou incineração; *Classe 2*: recolha diferenciada baseada em fluxos secos e húmidos e; *Classe 3*: recolha indiferenciada e tratamento mecânico-biológico (TMB), com valorização de materiais. Os diferentes cenários foram construídos em torno de tecnologias de tratamento de RU disponíveis no mundo, que possam ser aplicadas em países em desenvolvimento. Consideraram-se barreiras e possíveis sinergias entre a gestão de RU e outras produções industriais. Na *Classe 1* calculou-se a magnitude do impacto da deposição final imprópria de RU (aterros controlados e lixeiras), atual destino de mais de 40% do total de RU recolhidos no Brasil. Os resultados mostraram que o uso de aterros licenciados, em comparação aos aterros não licenciados e lixeiras, diminuirá o impacto da deposição final de RU entre 3 a 5 vezes (um exemplo foi uma diminuição na categoria de impacto potencial de aquecimento global de 1100-1200 kg CO₂eq.t⁻¹ de RU para 250-450 kg CO₂eq.t⁻¹ de RU). A *Classe 2* revelou os benefícios da reciclagem, bem como os potenciais riscos dos tratamentos biológicos para os fluxos de resíduos húmidos. Os fluxos de recolha seco-húmido podem resultar em níveis elevados de contaminação dum potencial composto produzido, pelo que pode levar a necessidade de se recorrer a processos de pré e pós-tratamentos intensivos para mitigar a contaminação do composto. Os potenciais impactos das emissões atmosféricas dos processos de degradação biológica foram importantes mesmo após processos de digestão anaeróbia. A purificação do biogás, para a utilização como combustível veicular, resultou em maiores economias, comparativamente à produção de eletricidade. Finalmente, a *Classe 3*, com TMB, evidenciou poupanças na maioria das categorias de impacto ambiental, associadas à valorização de materiais para reciclagem e à produção e utilização de combustíveis derivados de resíduos no fabrico de cimento.

Palavras-chave: Resíduos urbanos (RU); avaliação do ciclo de vida (ACV); países em desenvolvimento; tratamento mecânico-biológico (TMB), reciclagem.

10.1. Introdução

A gestão inadequada de resíduos no Brasil, histórica e atual, contribui para a depleção de recursos naturais, continua a causar a contaminação nas águas superficiais e subterrâneas, a deterioração da qualidade de ar e as emissões de gases de efeito de estufa (GEE), e apresentar riscos para a saúde humana (Rosa, Paula, Coleone, & Campos, 2017; Schalch, Leite, Fernandes Júnior, & De Castro, 2002). Além disso, algumas projeções apontam para um provável aumento acelerado na geração de resíduos urbanos (RU) no país, aliado à uma rápida urbanização e desenvolvimento económico (Veloso, 2014).

A produção de RU no Brasil em 2016 foi da ordem das 78,3 milhões de toneladas (ABRELPE, 2017). Neste ano, o serviço de recolha de RU alcançou aproximadamente 91% do total de resíduos gerados. Os restantes resíduos acabaram despejados ilegalmente ou queimados em espaços públicos abertos (Alfaia, Costa, & Campos, 2017). A gestão de RU brasileira deve seguir as diretivas da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS – Lei Federal n.º 12305/2010), que proíbe a deposição inadequada de resíduos e prioriza a observância na hierarquia de gestão dos resíduos (redução, reutilização, reciclagem, tratamento e eliminação) – Brasil (2010). Porém, em 2016, 17% dos RU recolhidos de forma indiferenciada foram depositados em lixeiras, sistemas sem quaisquer medidas de engenharia (como controlo de lixiviados ou de gás de aterro), significando apenas um local aberto designado para a eliminação (ABRELPE, 2017). Outros 25% foram depositados em aterros não licenciados (ou aterro controlados), locais com medidas básicas de engenharia, tais como compactação ou cobertura dos resíduos (diária, intermediária ou final). Os restantes 58% foram adequadamente depositados em aterros licenciados, sistemas com todas as medidas adequadas de engenharia (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012).

Além disso, apenas 1,9% dos municípios brasileiros têm compostagem comunitária. Já a incineração tem sido apenas utilizada para resíduos perigosos, como os resíduos hospitalares (ABRELPE, 2017; SNIS, 2017). Destaca-se ainda que, apesar de 30% dos municípios brasileiros terem iniciativas de recolha diferenciada de resíduos recicláveis secos, somente 3,6% dos resíduos produzidos são recolhidos separadamente. Sendo que os *catadores de rua* de materiais recicláveis secos (setor informal, indivíduos que trabalham a apanhar materiais potencialmente recicláveis), desempenham um papel significativo na recolha diferenciada, pois são responsáveis por mais de 90% da recolha de recicláveis no país (Aquino, Castilho Júnior, & Pires, 2009; MMA, 2012).

10.1.1. Avaliação de estratégias de gestão de RU no Brasil

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é um método padronizado internacionalmente (normas ISO 14040) e amplamente utilizado no apoio à tomada de decisões (EC, 2010). Contudo, no Brasil há poucos estudos de ACV relativos aos RU. Dentre os estudos de ACV de resíduos no Brasil estão os de Mendes, Aramaki, & Hanaki (2004), Leme, Rocha, Silva, Lopes, & Ferreira (2012) e Leme et al. (2014) que compararam cenários baseados no tratamento de resíduos indiferenciados em aterro (com e sem recuperação de energia) e incineração. Estes autores mostraram que, em geral, a incineração gera menores impactos ambientais do que o aterro. No entanto, a recuperação de energia não obteve poupanças ambientais significativas, pelo impacto já baixo da matriz da energia elétrica do Brasil. Além disso, Leme et al. (2014) revelam que os sistemas de incineração enfrentam sérias barreiras econômicas no Brasil, pelos insuficientes orçamentos municipais para uma gestão de RU eficaz.

Dentre os estudos que abordam cenários teóricos, incluindo a recolha diferenciada, destaca-se o de Reichert & Mendes (2014). Aplicando a metodologia de ACV, bem como uma análise econômico-social, estes autores compararam oito cenários de gestão (incluindo uma referência com cerca de 9% de reciclagem) para o município de Porto Alegre (sul do Brasil). Cenários alternativos incluíram a recolha diferenciada de recicláveis e biorresíduos a vários níveis, combinada com diferentes abordagens para o tratamento de resíduos indiferenciados, incluindo incineração e tratamento mecânico-biológico – TMB (aeróbio, anaeróbio e com produção de combustível derivado de resíduos – CDR). Os cenários com elevada taxa de reciclagem e tratamento integral de RU indiferenciado por sistemas baseados em TMB tiveram melhor desempenho na maioria das categorias de impacto ambiental. Além disso, o cenário baseado em elevada reciclagem foi o melhor nos efeitos econômicos e sociais.

Outro estudo realizado por Goulart Coelho & Lange (2016) comparou cenários teóricos que se atingiram as metas de desvios de aterro estabelecidas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) para o sudeste brasileiro, ou seja, reduzir os quantitativos de recicláveis e biorresíduos que vão para o aterro para 50% e 55%, respetivamente. Três cenários focaram-se em tratamentos de RU indiferenciados, como a incineração e os TMB (com valorização de metais ferrosos e CDR para produção de cimento). Outros quatro cenários assumiram que esses desvios aconteceram principalmente

através da recolha diferenciada. Os cenários com base na elevada recolha diferenciada mostraram os maiores benefícios ambientais.

Bernstad Saraiva, Souza, & Valle (2017) abordaram os biorresíduos no Rio de Janeiro e apontaram que pode ser atingido um desempenho ambiental semelhante se os biorresíduos fossem separados na fonte ou em um TMB com digestão anaeróbia (DA). Mais importante ainda, este trabalho teve como objetivo mostrar a influência da escolha entre modelações de ACV atribucionais e consequenciais. Sendo que, a abordagem atribucional se concentra no conhecimento dos impactos ambientais referente ao ciclo de vida de um produto ou serviço, assim como a identificação das criticidades no sistema, enquanto que a abordagem consequencial é concentrada em identificar as consequências ao ambiente provocadas por uma alteração no sistema do produto/serviço investigado (Scachetti, 2016).

Finalmente, o estudo de Ibáñez-Forés, Bovea, Coutinho-Nóbrega, Medeiros-García, & Barreto-Lins (2017) relatam a evolução da gestão de RU e o seu impacto ambiental entre 2005 e 2015, no município de João Pessoa (nordeste do Brasil). O município implementou a recolha diferenciada de recicláveis, abrangendo aproximadamente 20% dos bairros. Os autores relataram que, em 2015, as áreas servidas atingiram uma taxa de reciclagem combinada de 7% (6% recolha diferenciada e 1% da triagem de RU indiferenciados). Os restantes 93% foram direcionados para um aterro licenciado. O estudo mostrou que os impactos ambientais diminuíram ao longo do tempo. Ou seja, apesar da baixa taxa de reciclagem, este sistema (que recebeu principalmente resíduos provenientes da recolha diferenciada) contribuiu com poupanças em várias categorias de impacto.

10.1.2. Objetivo do estudo

Para além da urgente imposição de descarte seguro e controlado dos RU no Brasil, devem ser implementadas possíveis soluções integradas para a gestão dos RU, com o intuito de valorização e reciclagem de materiais, assim como avaliar a utilização de opções que capitalizem possíveis sinergias com outros setores da indústria. Dentre as alternativas pode-se incluir a implementação de: (1) dois fluxos de recolha de resíduos, dividido em fluxo seco e fluxo húmido, (2) implementação de TMB ou triagem de resíduos indiferenciados, usando conceitos que combinam a valorização de recicláveis, produção de CDR e a triagem e tratamento de biorresíduos. Esta última abordagem pode ser realizada com soluções técnicas, desde as mais básicas até às mais avançadas (Cimpan, Maul, Jansen, Pretz, & Menzel, 2015; Münnich, Mahler, & Fricke, 2006).

Como no Brasil não existem instalações de incineração dedicadas para os RU, uma alternativa seria produzir CDR de alta qualidade para substituir combustíveis fósseis nas indústrias de cimento. De acordo com IFC (2017), o coprocessamento ou a taxa de substituição de combustíveis alternativos no Brasil foi apenas de 8,1% em 2014, enquanto na Europa foi de 41%, variando significativamente entre países – atingindo 65% na Alemanha (De Beer, Cihlar, Hensing, & Zabeti, 2017). Contudo, ainda não há coprocessamento de RU no Brasil.

O objetivo principal deste estudo foi avaliar e comparar, da perspectiva do impacto ambiental, diferentes cenários de sistemas construídos em torno das principais tecnologias de gestão de RU existentes, e que possam ser aplicadas no Brasil. Os cenários para a gestão dos RU consideraram as condições específicas, as barreiras e as sinergias do setor de resíduos. Além disso, este estudo visou informar e apoiar a tomada de decisões para o desenvolvimento de políticas e estratégias de planejamento na gestão dos RU no Brasil.

10.2. *Materiais e métodos*

10.2.1. Metodologia de avaliação de ciclo de vida

Considerando o objetivo deste estudo e que as mudanças na gestão de RU podem ter efeitos potencialmente elevados sobre outros sistemas tecnológicos e sociais, utilizou-se uma metodologia baseada em ACV (EC, 2011; 2010). Isto implica a expansão do sistema em caso de multifuncionalidade, quando uma mudança na gestão de RU influencia sistemas de segundo plano (por exemplo, substituição de energia).

As interações foram modeladas com sistemas adjacentes (quando possível) usando os dados marginais de ICV – inventário de ciclo de vida, que denota processos e tecnologias com maior probabilidade de responder devido a mecanismos de mercado (ou seja, mudanças na oferta e procura de bens/serviços). A unidade funcional (UF) utilizada foi a gestão de 1 tonelada (tonelada métrica) de RU, desde a geração até à sua deposição final. Entende-se como fluxo de referência de RU os resíduos domésticos gerados anualmente, resíduos da limpeza urbana e os resíduos equiparados aos RU produzidos por pequenas organizações (Brasil, 2010).

Realizou-se a modelação em *EASETECH*, um *software* de ACV, desenvolvido na Dinamarca especificamente para gestão de resíduos (Clavreul, Baumeister, Christensen, & Damgaard, 2014). Esta ferramenta permite modelar detalhadamente os fluxos de massa e

de toda a cadeia da gestão de resíduos. Realizou-se uma avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) com o método recomendado ILCD (*International Reference Life Cycle Data System*), que incluiu 12 categorias de impacto (listadas na Tabela 10-1). Os fatores de normalização para as emissões e extração de recursos, geograficamente representativos como globais, foram baseados em DTU (2016) e Sala, Crenna, Secchi, & Pant (2017).

Tabela 10-1: Fatores de normalização ILCD recomendados.

Categoria de impacto ILCD	Abreviatura	Unidade	Fator de normalização
Potencial de aquecimento global	<i>GWP100</i>	kg·CO ₂ eq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	8,40E 03
Potencial de destruição da camada de ozono	<i>ODP</i>	kg·CFC ⁻¹¹ eq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	2,34E-02
Toxicidade humana, efeitos cancerígenos	<i>HT-CE</i>	CTUh·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	3,85E-05
Toxicidade humana, efeitos não cancerígenos	<i>HT-non CE</i>	CTUh·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	4,75E-04
Material particulado	<i>PM</i>	kg·PM2.5eq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	5,07 E 00
Formação de oxidantes fotoquímicos	<i>POF</i>	kg·NMVOCeq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	4,06E 01
Acidificação terrestre	<i>TAD</i>	mol·H+eq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	5,55E 01
Eutrofização terrestre	<i>EPT</i>	mol·Neq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	1,77E 02
Eutrofização de água doce	<i>EPF</i>	kg·Peq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	7,34E-01
Eutrofização de marinha	<i>EPM</i>	kg·Neq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	2,83E 01
Ecotoxicidade de água doce	<i>ECF</i>	CTUeq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	1,18E 01
Destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis	<i>DAMR</i>	kg·Sbeq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	1,93E-01

Fonte: Adaptado de DTU (2016) e Sala et al. (2017).

O CO₂ biogénico proveniente dos resíduos foi considerado neutro ao clima, enquanto que o CO₂ biogénico não emitido depois de 100 anos foi considerado armazenado (e contabilizado como um impacto evitado), tal como no método de Christensen et al. (2009). Em todo o caso, devido principalmente ao clima quente e húmido característico do Brasil, o armazenamento de carbono foi tido como insignificante com a aplicação do composto e do digerido no solo (provenientes da compostagem e da DA, respetivamente) e, também, nos casos de despejos em lixeiras e aterros não licenciados (Bernstad Saraiva et al., 2017).

10.2.1.1. Âmbito temporal, geográfico e tecnológico

Os resultados desta avaliação podem ser considerados válidos de curto a médio prazo, ou seja, de 5 a 10 anos. Os dados de inventário para sistemas de primeiro plano

referem-se a atuais tecnologias de tratamento e não são esperadas mudanças tecnológicas radicais dentro deste período.

O âmbito geográfico refere-se ao Brasil, no entanto, utilizaram-se muitos processos de primeiro plano da Europa, adaptados às condições climáticas médias do Brasil. Quanto à origem de alguns processos de segundo plano, utilizaram-se a média Europeia ou global (por exemplo: materiais primários e produção de combustíveis).

O desempenho tecnológico foi baseado em dados de diferentes fontes de investigação publicadas, e nas *Melhores Técnicas Disponíveis da UE para as Indústrias de Tratamento de Resíduos* (BREF).

10.2.1.2. Limites do sistema

Nesta avaliação, os sistemas devem ser entendidos como a soma de um sistema de primeiro plano e de um sistema de segundo plano, tal como Clift, Doig, & Finnveden (2000) e EC (2010).

Na análise de sistemas de gestão de resíduos, os sistemas de primeiro plano compreendem todas as atividades de gestão de resíduos, desde a recolha e transporte, passando pelo tratamento e valorização de materiais e/ou energia, até ao momento em que estas saídas funcionais (eletricidade, matérias-primas para a indústria) são disponibilizadas com os sistemas de segundo plano (economia e mercados).

Os sistemas de segundo plano representam as atividades económicas (exemplos: produção de energia e de materiais), que disponibilizam materiais e energia (incluindo as saídas funcionais da gestão de resíduos) com o sistema de primeiro plano e, portanto, afetam as decisões tomadas sobre sistemas de primeiro plano.

10.2.2. Descrição de sistemas alternativos (cenários de primeiro plano)

A Tabela 10-2 mostra os cenários do sistema de primeiro plano e as variantes avaliadas neste trabalho. Os sistemas da *Classe 2* baseiam-se em uma eficiência de recolha diferenciada teórica de 20% (para recicláveis secos), enquanto o resto (80%) é considerado como fluxo de resíduos húmidos. O foco foi comparar os efeitos de diferentes tratamentos biológicos ao invés da separação da fonte, que foi tratada de maneira genérica. Os cenários modelados estão apresentados nas Figuras D.1-1 a D.1-23 do Anexo D.1

Tabela 10-2: Resumo dos cenários avaliados.

Classe de sistema de gestão	Cenários do sistema principal	Variante do cenário
1. Sistemas de eliminação direta de resíduos indiferenciados	1.a – Lixeiras	
	1.b – Aterros não licenciados (aterros controlados)	
	1.c – Aterros licenciados sem recuperação de biogás	
	1.d – Aterros licenciados com recuperação de biogás	
	1.e – Incineração de resíduos sobre grelha com produção de energia por combustão	
2. Sistemas de recolha com dois fluxos: fluxo de recicláveis secos (20%) e fluxo de resíduos húmidos (80%)	2.a – Triagem simples do fluxo de recicláveis secos e fluxo de resíduos húmidos enviados para aterro licenciado	
	2.b – Triagem avançada do fluxo de recicláveis secos e fluxo de resíduos húmidos enviados para aterro licenciado	
	2.c – Triagem do fluxo de recicláveis secos e tratamento dos resíduos húmidos na compostagem (ao ar livre ou fechada)	2.c(w) Compostagem ao ar livre 2.c(e) Compostagem fechada
	2.d – Triagem do fluxo de recicláveis secos e fluxo húmido enviado para um pré-tratamento e posterior DA “via seca”, com produção de eletricidade a partir de biogás	2.d(u), 2.e(u) Utilização do biogás purificado como combustível veicular
	2.e – Triagem do fluxo de recicláveis secos e fluxo húmido enviado para um pré-tratamento e posterior DA “via húmida”, com produção de eletricidade a partir de biogás	
3. Sistemas de tratamento mecânico-biológico de resíduos indiferenciados	3.a – Tratamento mecânico-biológico aeróbio simples	
	3.b – Tratamento mecânico-biológico anaeróbio-aeróbio avançado (incluindo valorização de materiais)	3.b(u) Utilização do biogás purificado como combustível veicular
	3.c – Tratamento mecânico-biológico com secagem biológica simples	
	3.d – Tratamento mecânico-biológico com secagem biológica avançada (incluindo valorização de materiais)	

10.2.3. Inventário de ciclo de vida (ICV)

10.2.3.1. Geração de resíduos urbanos

Estabeleceu-se uma caracterização média dos RU após a compilação de dados de 15 estudos representativos de diferentes regiões do Brasil. Sendo que a caracterização foi calculada através da média ponderada (Colvero, Pfeiffer, & Carvalho, 2016) dos estudos avaliados. Os dados provieram, sobretudo, de análises gravimétricas de RU amostrados na fonte (domicílios) antes da intervenção do setor informal, ou seja, antes da recolha dos *catadores de rua* de materiais recicláveis que atuam nas ruas. O setor informal é contabilizado em referências bibliográficas oficiais, responsável por recolher 3,6% dos

resíduos gerados, constituídos principalmente por materiais recicláveis (SNSA, 2016). Neste estudo assumiu-se, em todos os sistemas modelados, que a intervenção dos *catadores* permanece constante. Assim, ajustou-se a caracterização inicial para representar os resíduos depois da remoção de 3,6% dos materiais. A caracterização resumida dos RU antes e após o setor informal (representando a UF deste trabalho) está apresentada na Tabela 10-3, estando detalhada no item D.1.1 (e na Tabela D.1-1) do Anexo D.1.

Tabela 10-3: Caracterização dos resíduos urbanos no Brasil.

Fração de resíduos	Gerado antes do setor informal (kg)	Gerado antes do setor informal (%)	UF depois do setor informal (kg)	UF depois do setor informal (%)
Papel	75,8	7,31	60,1	6,01
Cartão	69,4	6,69	67,9	6,79
Embalagem multicamada	3,4	0,33	2,7	0,27
Metal	18,2	1,75	11,4	1,14
Vidro	25,3	2,44	22,7	2,27
Plástico	185,4	17,87	175,3	17,53
Biorresíduo	548,5	52,88	548,5	54,85
Outro (combustível)	49,9	4,81	49,9	4,99
Outro (não combustível)	60,0	5,78	60,0	6,00
Perigoso	1,5	0,14	1,5	0,15
Total	1 037,0	100,00	1 000,0	100,00

10.2.3.2. ICV para os processos do sistema em primeiro plano

- **Recolha e transporte:** A recolha de resíduos contemplou a rota de recolha e o transporte dos RU até a chegada ao primeiro sistema de tratamento. A recolha foi modelada considerando um veículo de coleta convencional (de carregamento traseiro) e diferentes consumos de combustível (em litros de diesel por tonelada de RU recolhidos – $L \cdot t^{-1}$, conforme apresentado na Tabela 10-4).

Assumiu-se um consumo de diesel de $3 L \cdot t^{-1}$ para os fluxos húmidos e de resíduos indiferenciados e $6 L \cdot t^{-1}$ para a recolha de recicláveis secos. Este último valor considerou a dispersão potencialmente maior dos pontos de recolha e a menor capacidade do veículo de recolha, devido à maior densidade específica dos resíduos recicláveis. O transporte de longas distâncias foi, sobretudo, baseado nos estudos de Bassi, Christensen, & Damgaard (2017) e Vergara et al. (2016). Além disso, considerou-se que as centrais de triagem e os TMB estariam situados a 5 km dos aterros.

Tabela 10-4: Veículos de recolha e transporte, distância percorrida e consumos de combustível.

Recolha/transporte e tipo de resíduo	Tipo de veículo	Distância média (km)	Consumo médio de combustível ($L \cdot t^{-1}$)
Recolha de resíduos indiferenciados ¹	Veículo de recolha 10 t	-	3,0
Recolha do fluxo de recicláveis secos ¹	Veículo de recolha 10 t	-	6,0
Recolha do fluxo húmido ¹	Veículo de recolha 10 t	-	3,0
Metal ferroso e não ferroso para a reciclagem ²	Veículo de longo curso 25 t	350	0,03·distância
Vidro para a reciclagem ²	Veículo de longo curso 25 t	200	0,03·distância
Papel e cartão para a reciclagem ²	Veículo de longo curso 25 t	400	0,03·distância
Plástico para a reciclagem ²	Veículo de longo curso 25 t	350	0,03·distância
CDR para fornos de cimento ²	Veículo de longo curso 25 t	400	0,03·distância
Fluxos de resíduos (da triagem, cinzas e escórias da incineração) para o aterro ³	Veículo de recolha 10 t	5	0,06·distância

Fonte: Adaptado de ¹Bassi et al. (2017); ²Vergara et al. (2016); ³Elaboração própria.

- Separação na fonte e em centrais de triagem: os programas de separação de RU na fonte estão a se ampliar lentamente no Brasil. Quando implementado, o modelo se baseia na separação em fluxos secos e húmidos. A caracterização dos materiais baseou-se no estudo de PMCG (2017). O fluxo seco tem que ser enviado à triagem, que pode ser realizada em várias condições. Modelaram-se duas alternativas distintas: (1) triagem simples de RU, refletindo unidades de pequena escala e baixa tecnologia (triagem principalmente manual), comuns no Brasil e (2); triagem avançada, refletindo o estado da arte na Europa e nos EUA, com unidades que se caracterizam por maior escala e triagem mecânica complementada com triagem manual. Estimou-se o consumo de eletricidade (15 e $20 \text{ kWh} \cdot t^{-1}$, respetivamente), de diesel ($0,7 \text{ L} \cdot t^{-1}$) e fio de aço para fardos ($0,85 \text{ kg} \cdot t^{-1}$), conforme Cimpan et al. (2015) e Cimpan, Maul, Wenzel, & Pretz (2016). As eficiências dos dois tipos de triagem são apresentadas na Tabela D.1-2 do Anexo D.1.

- Deposição em aterro: No *software EASETECH*, a deposição em aterro pode modelada através de módulos especializados, que podem ser combinados e adaptados, alterando uma variedade de parâmetros para refletir diferentes tipos de aterros em condições climáticas distintas. O Brasil tem diferenças climáticas regionais, mas neste trabalho definiu-se um clima tropical húmido e quente (predominante no país), considerando as temperaturas médias anuais superiores a 20°C e uma precipitação média acima dos $1\,000 \text{ mm} \cdot \text{ano}^{-1}$ (ABRELPE, 2013). As condições climáticas influenciam a taxa de decomposição biorresíduos e, consequentemente a geração de CH_4 (Olesen & Damgaard, 2014). Os principais parâmetros utilizados estão apresentados na Tabela 10-5.

Tabela 10-5: Parâmetros utilizados no *EASETECH* para os aterros.

Descrição da tecnologia	Parâmetro	Unidade	Lixeira	Aterro controlado	Aterro licenciado (<i>flare</i>)	Aterro licenciado (aproveitamento energético)
			Sem cobertura, sem captação de gás e de lixiviado	Cobertura superior, sem captação de gás ou de lixiviado	Cobertura superior, com controlo de gás e de lixiviado	Cobertura superior, com controlo de gás e de lixiviado
Construção e operação ¹	Consumo diesel	L·t ⁻¹ resíduo	2,02E-04	2,02E-04	2,02E-04	2,02E-04
	Consumo eletricidade	kWh·t ⁻¹ resíduo	-	-	8,00E-03	8,00E-03
Geração de gás de aterro (LFG) ²	Fator de correção para taxa de decaimento		0,4	0,8	1	1
LFG – gás recolhido ¹	Ano 0-5	% gás gerado	0	30*	45	45
	Ano 5-15	% gás gerado	0	45*	80	80
	Ano 15-55	% gás gerado	0	55*	95	95
	Ano 55-100	% gás gerado	0	0	0	0
LFG – tratamento ¹	Sem tratamento	% gás recolhido	100	100	0	0
	Emissões fugitivas	% gás recolhido	0	0	2	2
	<i>Flare</i> ou motor a gás	% gás recolhido	0	0	98	98
LFG – cobertura superior ¹	Oxidação	% CH ₄	0	18	36	36
Geração de lixiviado ¹	Infiltração líquida	mm·ano ⁻¹	1 000	900	650	650
Captação de lixiviado ¹	Ano 0-80	% gás gerado	0	0	99,9	99,9
	Ano 80-100	% gás gerado	0	0	95	95
Tratamento de lixiviado ¹	Tipo de tratamento		-	-	Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR)	Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR)
Carbono armazenado ¹		% C-biogénico restante	0	0	100	100

Fonte: Adaptado de ¹DTU (2016); ²ABRELPE (2013).

*No caso de aterros não licenciados, estas percentagens referem-se ao gás que atravessa a cobertura superior e é libertado para o ar sem tratamento.

Destaca-se ainda que a taxa de decaimento de 1ª ordem (k) para a geração de gás de aterro (LFG) foi alterada para refletir as condições climáticas do Brasil. Diferentes tipos de aterro alteram ainda mais os valores de k e a geração de lixiviados. Assim, um fator de correção do CH₄ (MCF) foi usado para cada um dos três tipos de aterro (lixreira, aterro controlado e aterro licenciado), com base em ABRELPE (2013). Em relação à geração de lixiviado, considerou-se uma altura de 10 m para as camadas de todos os aterros, uma densidade de resíduos de 1 t·m⁻³ e um horizonte temporal de 100 anos (Lagerkvist, Ecke, & Christensen, 2011; Manfredi & Christensen, 2009; Olesen & Damgaard, 2014).

- Incineração: foi considerada como uma alternativa de aterro nos sistemas da *Classe 1* (sistema *1.e* – Tabela 10-2). Modelou-se um processo de incineração sobre grelha, baseado em instalações dinamarquesas (Møller, Jensen, Kromann, Neidel, & Jakobsen, 2013). Definiu-se uma eficiência líquida do processo de 25% para geração de eletricidade, ou seja, só é contabilizado 1/4 da energia térmica contida nos resíduos à entrada (baseada no poder calorífico inferior), após subtrair o autoconsumo. O conteúdo de energia e as emissões de GEE basearam-se nas características químicas das frações dos materiais Riber, Petersen, & Christensen (2009). Como o Brasil não possui infraestruturas de distribuição de aquecimento urbano, assumiu-se que o sistema não tem recuperação de calor. As cinzas e as escórias da incineração serão enviadas para um aterro de inertes e os metais ferrosos recuperados serão enviados para indústrias de reciclagem. O modelo em *EASETECH* considera lavagem de gases (para reduzir as emissões de gases ácidos) e lixiviação das cinzas de fundo, para além de redução catalítica não-seletiva (SNCR) para a remoção de dioxinas e óxidos de nitrogénio (NO_x) e carvão ativado para remover mercúrio.

- Tratamentos biológicos: O fluxo húmido recolhido após a separação na fonte (na *Classe 2* dos sistemas avaliados neste estudo – Tabela 10-2), ainda está altamente contaminado com outros materiais (30-40% de resíduos que não são biorresíduos). Antes do tratamento biológico, o fluxo deve passar, ao menos, por um pré-tratamento simples para concentrar as frações biodegradáveis. Isso foi modelado como abertura de saco básica (trituração grosseira) e crivagem (em tambor rotativo). A sequência do processo para os tratamentos biológicos é descrita na Tabela 10-6, enquanto que um resumo dos parâmetros de consumos e emissões, utilizados para todos os tratamentos biológicos, é apresentado na Tabela 10-7.

Tabela 10-6: Descrição da tecnologia de tratamento biológico utilizado no estudo.

Descrição da tecnologia	Compostagem ao ar livre	Compostagem fechada	DA “via seca”	DA “via húmida”	TMB aeróbio simples	TMB anaeróbio-aeróbio avançado	TMB com secagem biológica simples	TMB com secagem biológica avançada
Cenário	2.c(w)	2.c(e)	2.d	2.e	3.a	3.b	3.c	3.d
Fluxo de entrada	Fluxo húmido	Fluxo húmido	Fluxo húmido	Fluxo húmido	RU indiferenciado	RU indiferenciado	RU indiferenciado	RU indiferenciado
Pré- tratamento /triagem mecânica	Abertura de sacos e triagem	Abertura de sacos e triagem	Abertura de sacos e triagem	Abertura de sacos, triagem e <i>pulping</i> (lavagem)	Pré- -condicionamento simples, triagem de metais ferrosos	Pré- -condicionamento complexo, triagem de recicláveis secos	Pré- -condicionamento simples, triagem de metais ferrosos	Pré- -condicionamento complexo, triagem de recicláveis secos
Tratamento biológico principal	Compostagem ao ar livre	Compostagem fechada	DA “via seca” (<i>batch</i> , mesofílica)	DA “via húmida” (mesofílica, contínua), separação líquido-sólido de digerido	Compostagem fechada	DA “via seca” (<i>batch</i> , mesofílica)	Secagem biológica em reator estanque	Secagem biológica em reator estanque, manipulação automática
Cura/estabilização	Incluída no tratamento principal	Incluída no tratamento principal	Em pilhas ao ar livre	Em pilhas ao ar livre (fração sólida do digerido)	Incluída no tratamento principal	Compostagem fechada – pilhas/tunel	—	—
Pós-tratamento	Triagem	Triagem	Triagem	—	Triagem	Triagem	Separação densimétrica de inertes	Separação densimétrica de inertes
Tratamento de ar	—	Depuração de ácido, sem biofiltro	—	—	Despoeiramento, depuração de ácido, biofiltro	Despoeiramento, depuração de ácido, biofiltro	Despoeiramento, depuração de ácido, biofiltro	Despoeiramento, depuração de ácido, biofiltro oxidação térmica regenerativa (RTO)
Aplicação do fertilizante	Agricultura (solo argiloso)	Agricultura (solo argiloso)	Agricultura (solo argiloso)	Agricultura (solo argiloso)	Recuperação de solo e cobertura de aterros	Recuperação de solo e cobertura de aterros	Não (resíduos inertes são depositados em aterros)	Não (resíduos inertes são depositados em aterros)

Fonte: Adaptado de DTU (2016).

Compostagem: processo baseado nos dados disponíveis na biblioteca do *EASETECH*. O balanço mássico, as entradas do processo e as emissões das pilhas da compostagem ao ar livre foram baseadas em Andersen, Peyr, & Cuhls (2010). Já a compostagem fechada foi modelada com dados de sistemas italianos, que estão no *EASETECH*.

Digestão anaeróbia “via seca”: é um processo realizado com resíduos com alto teor de sólidos totais (ST) entre 20-50%. As tecnologias existentes são adequadas para fluxos de resíduos heterogêneos e não requerem pré-tratamentos intensivos. O processo modelado neste estudo utiliza reatores estanques, operados em modo descontínuo (*batch reactor*) em temperaturas mesofílicas (item D.1.3.3 do Anexo D.1).

Digestão anaeróbia “via húmida”: sistema que opera com menor teor de ST, inferior a 15% e tipicamente utilizam reator de tanque agitado de fluxo contínuo (CSTR), no qual a mistura contínua é assegurada por meios mecânicos e/ou injeção de biogás. O processo requer uma homogeneização do substrato de granulometria baixa, remoção de contaminantes e adição de humidade até o substrato ser passível de bombagem. Por isso, modelou-se um pré-tratamento adicional por *pulping* (lavagem), que é usado em instalações de DA na Europa para desintegrar os resíduos biodegradáveis e remover os contaminantes não biodegradáveis. Segundo Naroznova, Møller, Larsen, & Scheutz (2016), o processo tem três etapas principais: trituração, *pulping* e separação (triagem). A remoção adicional de areia e do material flutuante e os processos de desidratação (em espessadores) podem ser usados para melhorar a qualidade final do *biopulp*. Os detalhes do pré-tratamento são descritos no item D.1.3.3 do Anexo D.1.

Emissões dos tratamentos biológicos: as emissões atmosféricas (especialmente GEE) podem variar consideravelmente e dependem de diversos fatores como a matriz dos resíduos processados, o tipo de tecnologia (ao ar livre ou fechada) e as técnicas de tratamento de ar aplicadas. Consultou-se uma variedade de fontes para estabelecer uma base para as emissões de ar neste estudo, incluindo as BREF (EC, 2006); as emissões de referência de instalações do Reino Unido (DEFRA, 2011), experimentos (Alemanha) e literatura científica (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008); assim como instalações alemãs de TMB (Fricke, Santen, & Wallmann, 2005) e sistemas espanhóis de compostagem e DA (Colón et al., 2015).

- Tratamento mecânico-biológico: as instalações de TMB para RU provenientes da recolha indiferenciada foram modeladas como uma combinação de processos de triagem e tratamento biológico. As variantes rotuladas neste estudo como "avançadas",

incluem triagem de materiais secos para reciclagem, onde as eficiências de recuperação foram baseadas em Cimpan et al. (2015). Assumiu-se que degradação e a geração de emissões nos processos biológicos seguiram os mesmos padrões de tratamento da fração húmida, em que o mesmo tipo de processo e tratamento de ar foi usado. Definiu-se que as emissões do TMB de secagem biológica simples foram semelhantes às da compostagem fechada, com a diferença que a elevada taxa de arejamento evita a formação de CH₄. As emissões para o TMB de secagem biológica avançada basearam-se no ICV em Rigamonti, Grosso, & Biganzoli (2012), para uma instalação com oxidação térmica regenerativa (RTO). As taxas de eficiência dos TMB simples e avançado modelados estão apresentadas nas Tabelas D.1-3 e D.1-4 do Anexo D.1.

Tabela 10-7: Parâmetros adotados para os processos de tratamento biológico (biogás purificado e combustão não incluídos aqui).

Consumos de processos e emissões diretas	Unidade	Compostagem ar livre	Compostagem fechada	Digestão anaeróbia “via húmida”	Digestão anaeróbia “via seca”
Pré-tratamento					
Eletricidade (mecânico)	kWh·t ⁻¹ entrada	15	15	15	15
Eletricidade (<i>pulping</i>)	kWh·t ⁻¹ entrada	-	-	41	-
Água (<i>pulping</i>)	m ³ ·t ⁻¹ entrada	-	-	1,2	-
Tratamento biológico principal					
Eletricidade	kWh·t ⁻¹ entrada	0,2	53	20	30
Diesel	L·t ⁻¹ entrada	3	1	0,5	1,5
Calor*	MJ·t ⁻¹ entrada	-	-	60,3	57,6
Estabilização e pós-tratamento					
Eletricidade	kWh·t ⁻¹ entrada	Incluído no tratamento principal	Incluído no tratamento principal	50%* (pilhas de compostagem ao ar livre)	50%* (pilhas de compostagem ao ar livre)
Diesel	L·t ⁻¹ entrada				
Emissões para o ar					
CH ₄ DA (fugas)	% CH ₄ biogás	n.a.	n.a.	2	2
Tratamento aeróbio do CH ₄	% C degradado	2,24	2,24·(0,05)	Estabilização baseada nos parâmetros da compostagem ao ar livre	Estabilização baseada nos parâmetros da compostagem ao ar livre
N ₂ O	% N degradado	15	1,4		
NH ₃	% N degradado	83	83·(0,01)		
NMVOC	kg·t ⁻¹	2	2·(0,05)		

*Apenas em cenários com biogás purificado (quando o biogás é usado diretamente para a produção de energia, assume-se que as necessidades de calor são satisfeitas localmente).

Fonte: Adaptado de Cimpan et al. (2015).

Secagem biológica: é uma variação da compostagem realizada em reatores fechados, nos quais o calor biológico produzido por microrganismos, nos estágios iniciais de decomposição, é aproveitado e controlado pelo intenso arejamento forçado que promove a

rápida remoção de humidade por evaporação convectiva (Velis, Longhurst, Drew, Smith, & Pollard, 2009). Dependendo do provedor de tecnologia, o processo é executado entre 5-15 dias (em lotes). Ao contrário dos processos de compostagem clássicos, que visam a máxima degradação, o objetivo da secagem biológica é a rápida remoção da humidade, com degradação mínima do substrato, até cessar a atividade biológica (15-20°C), tornando o material de saída de armazenável por curto prazo. O substrato é biodegradado dentro de reatores estanques ao ar e aos líquidos. O enchimento e a descarga podem ser feitos automaticamente por meio de guindastes ou manualmente, com pás carregadoras. Os parâmetros relativos aos consumos e emissões estão apresentados na Tabela 10-8.

Tabela 10-8: Parâmetros adotados para os TMB.

Consumos de processos e emissões diretas	Unidade	TMB aeróbio simples	TMB anaeróbio-aeróbio avançado	TMB com secagem biológica simples	TMB com secagem biológica avançada
Consumos do processo					
Electricidade	kWh·t ⁻¹ entrada	70	80	70	90
Diesel	L·t ⁻¹ entrada	2,5	3	2,5	2
Calor*	MJ·t ⁻¹ entrada	-	57,6	-	-
Fio de aço	kg·t ⁻¹ entrada	-	0,13	-	0,13
Gás natural (NG)	m ³ ·t ⁻¹ entrada	-	-	-	2
Emissões para o ar					
CH ₄ DA (fugas)	% CH ₄ biogás	n.a.	2	n.a.	n.a.
CH ₄ tratamento aeróbio	% C degradado	2,24·(0,05)	baseado nos parâmetros de estabilização da compostagem fechada	0	0
N ₂ O	% N degradado	1,4		1,4	8,6**
NH ₃	% N degradado	83·(0,01)		83·(0,01)	8**
NMVOCs	kg·t ⁻¹ entrada	2·(0,05)		2·(0,05)	7,7**
NO _x	g·t ⁻¹ entrada	-	fechada	-	70
SO _x	g·t ⁻¹ entrada	-		-	0,15
CO ₂ fóssil (da combustão de NG)	kg·t ⁻¹ entrada	n.a.	n.a.	n.a.	4

*Apenas em sistemas de cenários com biogás purificado (quando o biogás é usado diretamente para a produção de energia, assume-se que as necessidades de calor são satisfeitas localmente).

**A unidade é g·t⁻¹ de RU (Rigamonti et al., 2012).

Fonte: Adaptado de Rigamonti et al. (2012).

Salienta-se que as taxas de eficiência dos pré-tratamentos da fração húmida dos RU e as emissões da combustão do biogás para a produção de eletricidade e calor estão apresentadas nas Tabelas D.1-5 e D.1-6 do Anexo D.1, respetivamente.

10.2.3.3. Saídas funcionais e dados do ICV para processos de segundo plano

Os sistemas de primeiro plano modelados neste estudo resultaram em saídas de material final recuperado a enviar para a indústria de reciclagem ou saídas de energia (eletricidade a injetar na rede elétrica) e/ou resíduos finais (refugos para deposição final no

solo, emissões para o ar, água e solo). Os primeiros são chamados de saídas funcionais, pois são produtos vendidos em mercados relacionados e podem substituir fontes alternativas com a mesma função (designados por fluxos evitados ou substituídos). Os processos que conduzem à recuperação final e a estrutura usada para a substituição é apresentado nas seções seguintes:

- *Electricidade e calor*: A eletricidade tanto para o consumo do processo quanto para a produção evitada/substituída foi modelada com dados do ICV para o Brasil, importados da base de dados do *Ecoinvent*. Uma tecnologia marginal simples foi escolhida para representar o estado atual e o desenvolvimento a curto prazo da produção de eletricidade no Brasil, conforme a análise de Bernstad Saraiva et al. (2017). Estes autores identificaram a produção de eletricidade a partir de gás natural (ciclo combinado) como a tecnologia mais provável a se adaptar ao mercado da eletricidade. Foi aplicado um fator de perdas na rede de 3,9% para diferenciar o consumo (média tensão) da substituição (alta tensão). Considerou-se que o consumo de calor na DA será abrangido pela cogeração no caso em que o biogás for utilizado diretamente em motores a gás. Por outro lado, quando o biogás foi purificado para biometano, foi assumido que o calor seria fornecido por uma caldeira a gás natural. Habitualmente, uma parte do biogás seria usada diretamente para a produção de calor, reduzindo a quantidade de produção de biometano. O efeito total, em ambos os casos, seria relativamente próximo, mas visou-se testar todo o potencial para a substituição de diesel.

- *Reprocessamento/reciclagem e produção primária evitada*: os processos de reciclagem e produção primária foram modelados a partir de processos genéricos europeus e globais, uma vez que não há dados específicos disponíveis para o Brasil. Os processos foram modelados de acordo com os dados do *EASETECH*, baseados em Bassi et al. (2017) e Rigamonti et al. (2012). A reciclagem foi definida através da eficiência de valorização de processo (A) e da produção primária evitada, considerado as taxas de substituição do mercado (B), que são descritas na Tabela D.1-7 do Anexo D.1.

- *Purificação do biogás e o seu uso como combustível veicular*: O biometano é comumente utilizado como combustível em veículos na Europa, substituindo o gás natural comprimido (GNC) ou o gás natural liquefeito (GNL). A eficiência do biometano usado em motores de combustão interna é semelhante à dos combustíveis convencionais, como a gasolina, mas é menor do que a do diesel, em 10-15% (Cong, Caro, & Thomsen, 2017; Delgado & Muncrief, 2015). Os processos modelados incluíram a purificação do

biogás por tecnologia de membrana (consumo elétrico de $0,24 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$), compressão e distribuição de biometano ($0,065 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$, com 2% de perdas de CH_4). Considerou-se o uso de biometano para substituir a produção e utilização de diesel numa aplicação equivalente (veículo comercial de grande porte), considerando um fator de substituição de 1,0:0,9 (MJ:MJ). As emissões dos veículos de biometano basearam-se em inventários de emissões do GNC convencional (exceto o CO_2 fóssil), um pressuposto suportado por estudos como o de Hakawati, Smyth, McCullough, De Rosa, & Rooney (2017).

- *CDR para fornos de cimento*: a combustão de CDR em forno de cimento foi modelada com base no processo de incineração do *EASETECH*, aplicando os coeficientes específicos de entrada ao ar, provenientes de Genon & Brizio (2008). O processo evita a energia térmica equivalente do uso de coque de petróleo, incluindo a sua produção e combustão. As emissões da combustão do coque foram calculadas com base nos coeficientes de transferência (para CDR) aplicados à composição média do coque de Genon & Brizio (2008). Mais detalhes da modelação estão no item D.1.3.5 (e Tabela D.1-8) do Anexo D.1.

10.2.4. Análise de sensibilidade

As incertezas relacionadas com as opções tecnológicas globais aplicadas nos cenários dos sistemas foram abordadas, em certa medida, pela modelação de tecnologias que poderiam abranger um grande intervalo de impactos ambientais. Muitos dos parâmetros utilizados neste estudo sofrem de incertezas e variabilidade, mas devido à falta de dados brasileiros para alguns processos, a medição da incerteza é quase impossível. Em vez disso, testou-se a sensibilidade dos resultados da linha de base em relação à variação de parâmetros importantes (Tabela 10-9), tais como o carbono armazenado em aterros, as relações de substituição de eletricidade marginal e os rácios de substituição de CDR/coque.

Tabela 10-9: Parâmetros e descrição da análise de sensibilidade.

Sensibilidade (parâmetro/tecnologia)	Descrição da variação	Cenário onde se aplicou a sensibilidade
Carbono (C) armazenado nos aterros licenciados	C restante armazenado depois de 100 anos definido como 0%	1.c; 1.d
Eletricidade marginal	Substituída pela matriz da produção brasileira (MME, 2017)	1.d; 1.e; 2.d; 2.e
Rácios de substituição do CDR-coque	Alterado de 1:1 para 1:0,9 (conteúdo energético base)	3.a; 3.b; 3.c; 3.d
Pós-compostagem do digerido após DA	Mudança de processos abertos para fechados	2.d; 2.d(u); 2.e; 2.e(u)

Testaram-se ainda as variações nos cenários com DA, substituindo a pós-compostagem ao ar livre por pós-compostagem fechada. A análise de sensibilidade para a eletricidade se baseou na matriz apresentada na Tabela D.1-9 do Anexo D.1.

10.3. Resultados

Os resultados da ACV serão apresentados nos itens seguintes, como valores normalizados em miliequivalentes de pessoa (mPE), que permite a comparação entre as categorias de impacto. Após uma comparação global dos sistemas, elaborou-se uma análise das contribuições dos processos e dos resultados da análise de sensibilidade. Além disso, os resultados da caracterização, para todas as categorias de impacto e cenários, estão apresentados nas Tabelas D.1-10, D.1-11 e D.1-12 do Anexo D.1.

10.3.1. Comparação geral dos sistemas e das categorias de impacto

A Tabela 10-10 mostra o resultado líquido normalizado para cada categoria de impacto, para cada variante do sistema, com destaques a verde e vermelho a representar as variantes de melhor e pior desempenho, respetivamente. O valor líquido representa a soma dos impactos ambientais e benefícios. Assim, valores positivos denotam impactos globais, enquanto os negativos representam poupanças ambientais (economia líquida), dentro de uma categoria de impacto. Conforme apresentado na Tabela 10-1, as 12 categorias de impacto são: potencial de aquecimento global (*GWP100*), potencial de destruição da camada de ozono (*ODP*), toxicidade humana, efeitos cancerígenos (*HT-CE*), toxicidade humana, efeitos não cancerígenos (*HT-non CE*), material particulado (*PM*), formação de oxidantes fotoquímicos (*POF*), acidificação terrestre (*TAD*), eutrofização terrestre (*EPT*), eutrofização da água doce (*EPF*), eutrofização marinha (*EPM*), ecotoxicidade da água doce (*ECF*) e destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis (*DAMR*).

Pode-se observar que na *Classe 1*, em que foram modelados os sistemas de eliminação de RU, dentre eles uma lixeira (*1.a*) e um aterro controlado (*1.b*), que representam uma parte significativa da atual gestão de RU no Brasil, tiveram os maiores impactos em cinco das 12 categorias de impacto: *GWP100*, *ODP*, *HT-CE*, *EPM* e *ECF*. É importante notar que a implementação de alguns controlos, principalmente as coberturas de aterro controlado, pode ser creditada apenas como efeitos marginais na mitigação de impactos. Contrariamente, a *Classe 3* (dos sistemas mecânico-biológicos) revelou as maiores poupanças ambientais globais em sete das 12 categorias de impacto: *GWP100*,

ODP, ECF, PM, POF, TAD e EPT. Já a *Classe 2*, isto é, sistemas baseados na recolha dos fluxos secos e húmidos, apresentou resultados altamente variados. Os sistemas que incluíram compostagem, DA “via seca” ou “via húmida” de resíduos húmidos tiveram poupanças elevadas nas categorias: *HT-CE* e *EPF*. Os mesmos sistemas mostraram elevados impactos na categoria *HT-non CE*. As variantes do sistema de DA que incluíram compostagem ao ar livre apresentaram impactos particularmente elevados em quatro categorias: *PM, POF, TAD e EPT*. Estes impactos pareceram mitigados com o uso da compostagem fechada, ou seja, *2.c(e)*.

Ressalta-se ainda que todos os sistemas da *Classe 2* contribuíram com poupanças ambientais na *DAMR*, apesar de os sistemas da *Classe 3*, baseados em modelos avançados de recuperação de materiais, terem tido resultados semelhantes. Os sistemas da *Classe 2* baseados na DA “via húmida” não tiveram poupanças na categoria *GWP100* e mostraram desempenhos semelhantes às variantes com compostagem ou deposição final em aterro licenciado do fluxo húmido.

Tabela 10-10: Resultados líquidos normalizados em miliequivalentes de pessoa (mPE): potencial de aquecimento global (*GWPI00*), potencial de destruição da camada de ozono (*ODP*), toxicidade humana, efeitos cancerígenos (*HT-CE*), toxicidade humana, efeitos não cancerígenos (*HT-non CE*), material particulado (*PM*), formação de oxidantes fotoquímicos (*POF*), acidificação terrestre (*TAD*), eutrofização terrestre (*EPT*), eutrofização da água doce (*EPF*), eutrofização marinha (*EPM*), ecotoxicidade da água doce (*ECF*), destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis (*DAMR*).

	Classe 1 – Sistemas de eliminação direta de resíduos indiferenciados					Classe 2 – Sistemas de recolha dos fluxos seco e húmido								Classe 3 – Tratamentos mecânico-biológicos de resíduos indiferenciados					
	1.a	1.b	1.c	1.d	1.e	2.a	2.b	2.c(w)	2.c(e)	2.d	2.d(u)	2.e	2.e(u)	3.a	3.b	3.b(u)	3.c	3.d	
GWP100	146,7	132,4	30,5	24,7	25,5	16,2	15,0	18,3	-4,9	6,3	0,7	4,8	0,0	-37,8	-42,6	-48,5	-51,7	-48,5	
ODP	38,6	37,2	15,5	16,6	-0,8	13,1	13,0	1,7	1,7	1,0	0,4	-1,4	-2,0	-3,7	-4,1	-4,8	-5,5	-5,2	
HT-CE	38,0	37,7	8,9	6,6	-15,4	-14,2	-18,9	-131,4	-131,6	-134,4	-137,5	-159,2	-162,5	36,0	24,2	19,3	-38,2	-49,3	
HT-non CE	27,8	27,6	18,2	16,4	16,2	12,9	10,8	1.025,9	1.024,8	1.023,9	1.017,8	457,6	451,1	138,1	141,2	134,2	126,7	129,5	
PM	1,5	1,5	2,0	2,3	-1,7	-8,3	-11,0	22,0	-11,3	22,3	12,9	20,3	10,3	-30,1	-29,0	-27,2	-35,9	-34,4	
POF	16,4	15,0	8,8	16,7	16,6	8,2	7,0	22,4	-3,1	17,7	-0,2	5,6	-13,3	-15,2	6,1	-12,3	-15,9	-21,2	
TAD	1,3	1,3	2,5	6,4	9,7	-1,2	-2,7	132,1	-5,2	134,9	127,8	125,9	118,4	-37,6	-25,0	-30,0	-47,3	-35,7	
EPT	2,0	2,0	3,2	11,0	19,4	5,9	5,3	192,6	0,3	196,9	189,3	183,3	175,3	-1,4	2,6	-5,3	-5,5	-5,8	
EPF	2,5	2,5	2,0	1,8	-0,9	2,0	1,2	-25,9	-25,9	-26,0	-29,1	-25,5	-28,7	0,5	4,9	1,6	-4,9	-0,6	
EPM	48,0	47,7	3,0	7,5	11,2	4,6	4,3	11,9	3,4	17,5	13,0	16,0	11,3	7,2	12,7	8,1	-3,7	-3,5	
ECF	21,1	20,9	7,4	5,9	-7,5	3,2	2,3	9,2	9,4	7,7	8,2	0,0	0,5	19,4	18,1	17,6	-6,6	-7,2	
DAMR	0,0	0,0	0,1	0,0	-1,9	-7,6	-10,0	-9,8	-10,0	-10,1	-11,3	-10,0	-11,3	-4,4	-9,9	-11,2	-4,8	-10,3	

Destaques a verde e vermelho a representar as variantes de melhor e pior desempenho, respetivamente.

10.3.2. Análise das contribuições dos processos

As contribuições dos processos estão apresentadas nas Figuras 10-1 a 10-3. As barras, acima e abaixo do eixo das abcissas representam impactos e poupanças ambientais, respetivamente.

10.3.2.1. Sistemas baseados na eliminação direta de resíduos indiferenciados (*Classe 1*)

Na Figura 10-1 estão apresentadas as contribuições dos processos para os sistemas da *Classe 1*, nas quais se evidencia que a deposição final inadequada dos RU (lixeiros – *1.a* e aterros não licenciados – *1.b*) têm um alto ônus em várias categorias de impacto. As maiores contribuições para esses elevados impactos são os LFG (em *GWP100* e *ODP*) e os lixiviados não tratados (em *HT-CE*, *HT-non CE*, *EPM* e *ECF*). Os aterros licenciados reduziram o *GWP100*, no cenário *1.c*, para 1/5 do valor das lixeiras (*1.a*), de 1 232 kg CO₂eq·t⁻¹ de RU para 256 kg CO₂eq·t⁻¹ de RU.

A utilização do LFG para produção de eletricidade no cenário *1.d*, teve um efeito benéfico nas categorias *GWP100*, *HT-CE*, *HT-non CE* e *ECF*, mas teve impactos ambientais na *ODP*, *PM*, *POF*, *TAD*, *EPT* e *EPM*. Isto relaciona-se, sobretudo, com as emissões de NO_x e clorofluorcarbonetos (CFC) no processo de combustão (de motores a gás). O processo de queima (*flaring*) do modelo testado neste estudo teve uma maior eficiência na destruição de CFC e gerou menos NO_x, em comparação ao processo de combustão do motores a gás. Esta diferença nas emissões de processo não desacredita necessariamente a utilização de LFG, mas salienta a importância de escolher a tecnologia certa para uma redução transversal das emissões.

O cenário *1.e*, com incineração, teve melhor desempenho em várias categorias. No entanto, para as categorias *POF*, *TAD* e *EPT*, apresentaram os maiores impactos. Estes impactos, mais uma vez, relacionaram-se com emissões de NO_x. No entanto, a produção de energia e substituição de eletricidade marginal no cenário *1.e* contribuíram para significativas economias nas categorias *GWP100*, *ODP*, *HT-CE*, *PM*, *EPF*, *ECF* e *DAMR*.

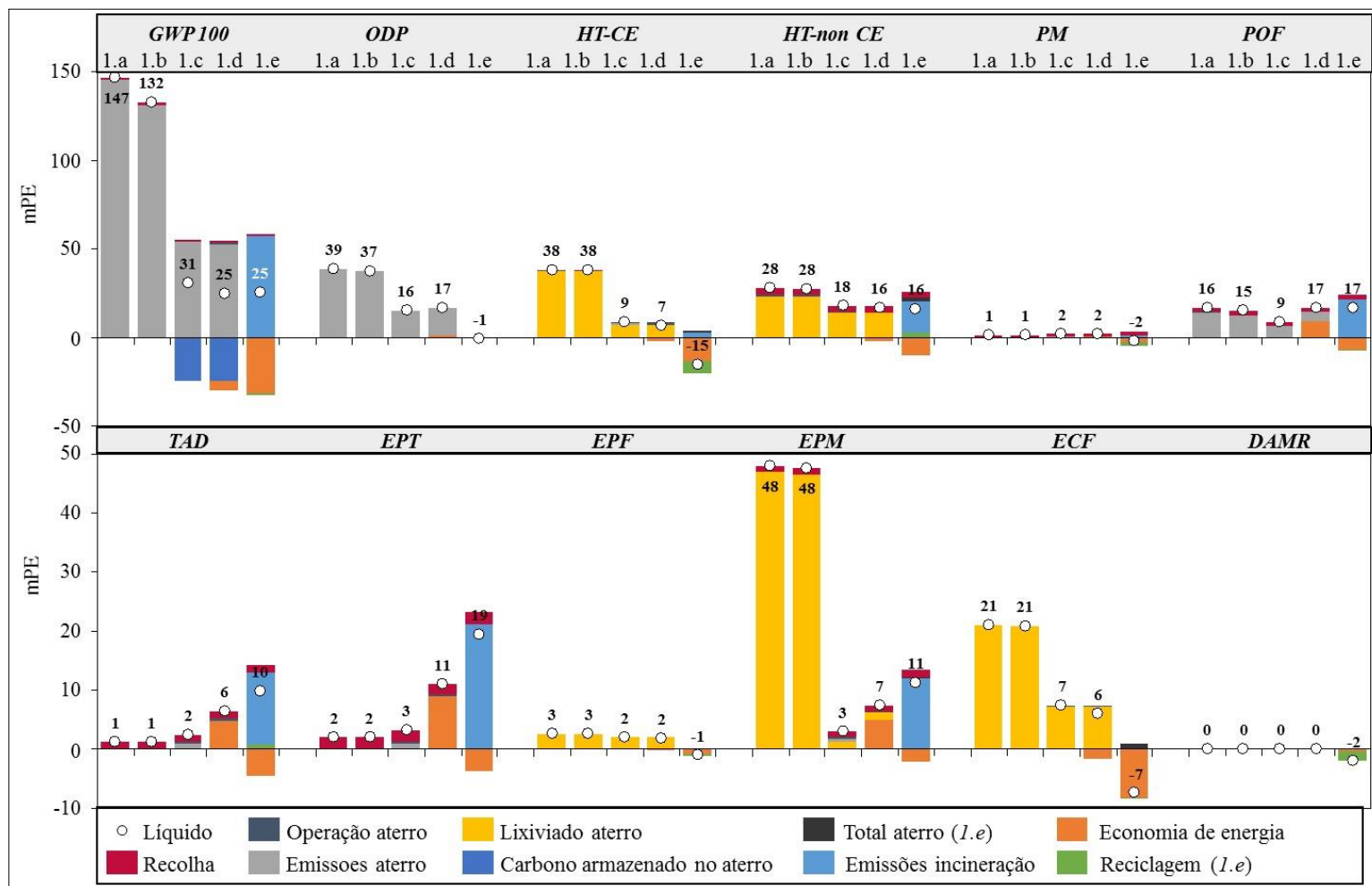


Figura 10-1: Resultados líquidos normalizados da *Classe 1* em miliequivalentes de pessoa (mPE): potencial de aquecimento global (GWP100), potencial de destruição da camada de ozônio (ODP), toxicidade humana, efeitos cancerígenos (HT-CE), toxicidade humana, efeitos não cancerígenos (HT-non CE), material particulado (PM), formação de oxidantes fotoquímicos (POF), acidificação terrestre (TAD), eutrofização terrestre (EPT), eutrofização da água doce (EPF), eutrofização marinha (EPM), ecotoxicidade da água doce (ECF), destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis (DAMR).

10.3.2.2. Sistemas baseados nos fluxos seco e húmido (*Classe 2*)

Na Figura 10-2 está apresentada a decomposição dos resultados normalizados para os sistemas da *Classe 2*, que são baseados nos fluxos seco e húmido em uma proporção de 80/20. As primeiras duas variantes, *2.a* e *2.b*, combinam a triagem dos materiais recicláveis secos e a subsequente reciclagem, e a deposição final do fluxo húmido em aterro licenciado. Já as restantes variantes da *Classe 2* (de *2.c* a *2.e*) incluem o pré-tratamento do fluxo húmido e a compostagem (*2.c*) ou DA (*2.d* e *2.e*).

Nos sistemas *2.a* e *2.b*, cerca de 11-12% (por UF) dos resíduos são direcionados para a reciclagem após triagem do fluxo seco. Pode-se observar que as emissões dos aterros, nos cenários *2.a* e *2.b*, em geral, superaram as economias potenciais da reciclagem de materiais, nas categorias *GWP100*, *ODP*, *HT-non CE*, *EPM* e *ECF*. Não obstante, a reciclagem de recicláveis secos contribuiu com poupanças em quase todas as categorias de impacto. Por exemplo, a *GWP100* foi reduzida para metade em comparação com o cenário *1.c* (deposição em aterro licenciado RU indiferenciados). A operação das centrais de triagem tiveram um impacto insignificante.

Além disso, a adição de tratamentos no fluxo húmido resultou em observações interessantes. Os resultados sugeriram que o cenário *2.c(e)*, que é baseado na compostagem fechada dos RU húmidos, teve os menores impactos na maioria das categorias. Já o cenário *2.c(w)*, com compostagem ao ar livre, teve maiores emissões para a atmosfera do que a compostagem fechada e, além disso, como o processo também foi modelado para a estabilização do digerido, a compostagem ao ar livre afetou negativamente todos os sistemas baseados na DA do fluxo húmido. Em cenários com DA, apesar de CH₄ ser quase todo removido (exceto as emissões fugitivas), as emissões baseadas em nitrogénio permanecem praticamente inalteradas. Os potenciais impactos estão ligados às entradas e às emissões específicas de CH₄, N₂O, NH₃ e de compostos orgânicos voláteis não metanogénicos (NMVOC) no processo. A escolha do sistema para estabilização do digerido foi indicada como um ponto relevante, que foi testado numa análise de sensibilidade, que acabou por alterar substancialmente o panorama inicial.

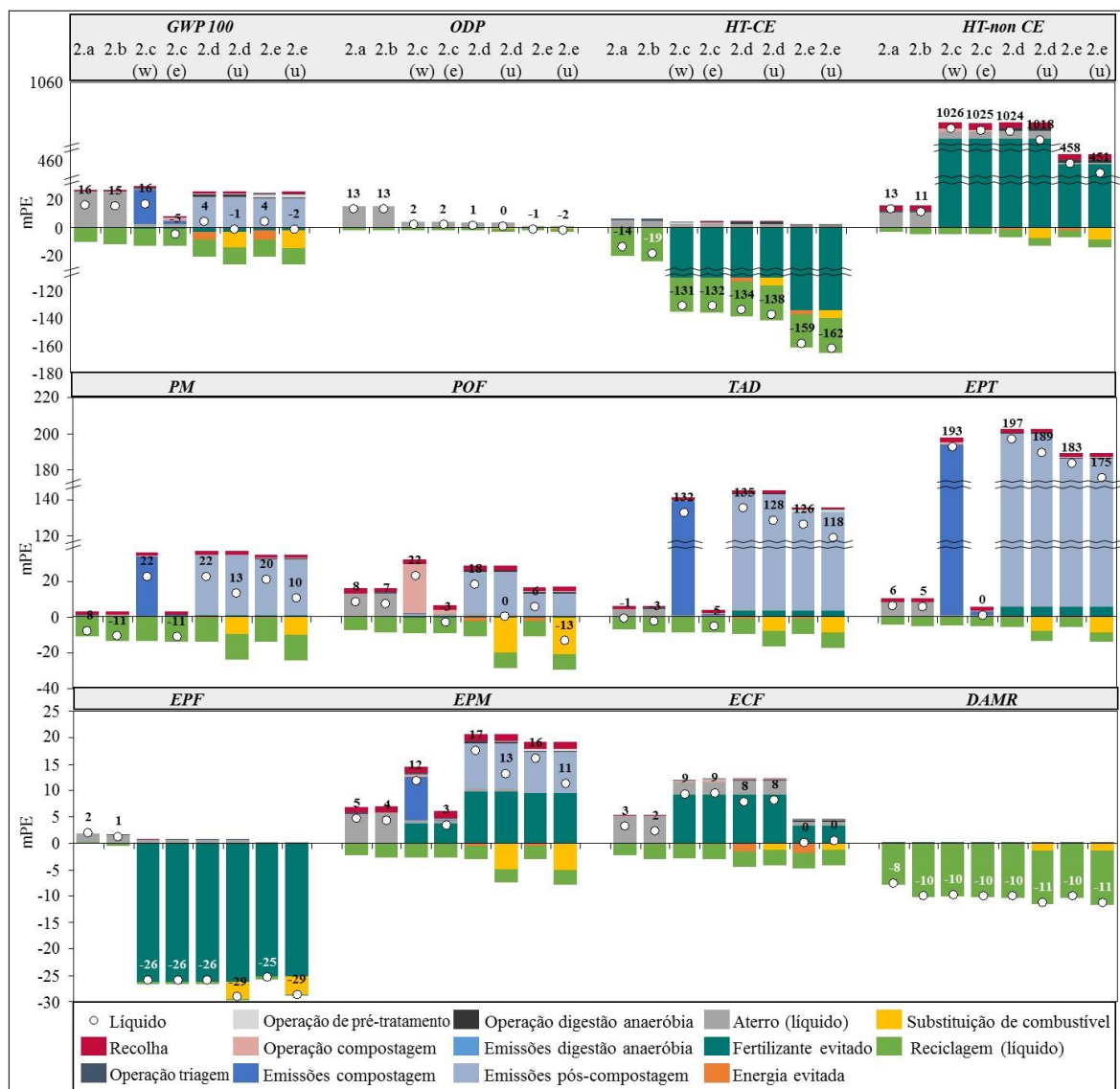


Figura 10-2: Resultados líquidos normalizados da *Classe 2* em miliequivalentes de pessoa (mPE): potencial de aquecimento global (*GWP100*), potencial de destruição da camada de ozônio (*ODP*), toxicidade humana, efeitos cancerígenos (*HT-CE*), toxicidade humana, efeitos não cancerígenos (*HT-non CE*), material particulado (*PM*), formação de oxidantes fotoquímicos (*POF*), acidificação terrestre (*TAD*), eutrofização terrestre (*EPT*), eutrofização da água doce (*EPF*), eutrofização marinha (*EPM*), ecotoxicidade da água doce (*ECF*), destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis (*DAMR*).

A aplicação de composto e de digerido estabilizado nos solos (agrícolas) também apresentou resultados extremos: ou grandes poupanças (nas categorias *HT-CE* e *EPF*) ou elevados impactos (nas categorias *HT-non CE*, *EPM* e *ECF*). O processo apresentado como "fertilizante evitado" na Figura 10-2, refere-se ao efeito líquido da aplicação no solo de fertilizantes naturais e que acaba por evitar fertilizantes minerais. As economias têm em conta metais pesados, especificamente crómio, que é evitado ao se utilizar fertilizantes minerais. Os impactos foram analisados da mesma forma para metais pesados (crómio,

níquel, chumbo e mercúrio), presentes no fertilizante após o tratamento da fração húmida, mais precisamente, os metais pesados provenientes da fração "outros não-combustíveis", da matriz de resíduos. Os sistemas com DA "via húmida", que incluíram um pré-tratamento secundário (*pulping*), tiveram um impacto menor no *HT-non CE* e *ECF*, devido à uma mais eficaz remoção global dessa fração da entrada para o processo de digestão.

Tanto a DA "via seca" como a DA "via húmida" produziram quantidades semelhantes de biogás. A utilização direta do biogás para a produção de eletricidade resultou em pequenas poupanças, em várias categorias, enquanto o biogás purificado, utilizado como combustível veicular, mostrou benefícios significativamente maiores – cenários 2.d(u) e 2.e(u).

10.3.2.3. Sistemas baseados em tratamentos mecânico-biológico (*Classe 3*)

Os resultados para a *Classe 3* estão apresentados na Figura 10-3. As variantes do sistema atingiram economias ambientais líquidas em quase todas as categorias de impacto, com resultados relativamente semelhantes, mas favorecendo, as duas variantes baseadas no tratamento de resíduos indiferenciados em TMB com secagem biológica. A operação dos TMB, tal como a das triagens da *Classe 2*, não teve impactos significativos.

A utilização de CDR no fabrico de cimento contribuiu com grandes poupanças, relacionadas com a produção e combustão de coque de petróleo evitado. Somente na categoria de impacto *HT-non CE*, as emissões diretas da combustão de CDR resultaram num impacto maior do que as economias por coque evitado. A contribuição para este impacto deve-se ao lançamento para a atmosfera de metais pesados voláteis (especificamente chumbo e mercúrio).

Cerca de 14% dos resíduos que entraram no sistema foram valorizados através da reciclagem (ou seja, metais, plásticos, papel e cartão), nas variantes 3.b e 3.d, que pretenderam representar as versões dos sistemas em que a recuperação dos materiais teria lugar, para além do tratamento dos biorresíduos e a produção de CDR. Nas variantes mencionadas, a reciclagem contribuiu para uma economia significativa em diferentes categorias de impacto.

"Recuperação dos solos", que é uma utilização de baixo grau do composto ou digerido estabilizado a partir de TMB aeróbios ou anaeróbio-aeróbios, resultou em impactos nas categorias *HT-CE* e *ECF*, devido a metais pesados (principalmente zinco,

cobre e crómio). Este resultado é justificado por estes sistemas receberem resíduos indiferenciados e os produtos estabilizados normalmente não cumprirem os requisitos para serem usados como fertilizantes, sem substancial pré ou pós-tratamento.

10.3.3. Resultados da análise de sensibilidade

Os resultados da análise de sensibilidade para a categoria *GWP100* podem ser observados na Figura 10-4, onde são comparados com os resultados-base líquidos, e na Tabela D.1-13 do Anexo D.1.

Ao definir o armazenamento de carbono em aterros licenciados para 0%, após 100 anos, houve um aumento da categoria de impacto *GWP100* (81% para *1.c* e 100% para *1.d*). Esta alteração apontaria a incineração, como a melhor alternativa para a eliminação direta de resíduos indiferenciados. As outras categorias de impacto não foram influenciadas por esta alteração.

A mudança da tecnologia de pós-tratamento do digerido por “compostagem ao ar livre” por “compostagem fechada” nos cenários *2.d*, *2.d(u)*, *2.e* e *2.e(u)* teve, como esperado, uma melhoria substancial no desempenho em todas as categorias de impacto, anteriormente dominadas pelas emissões atmosféricas da compostagem ao ar livre (*GWP100*, *PM*, *POF*, *TAD*, *EPT* e *EPM*).

A substituição da eletricidade marginal (ou seja, baseada no ciclo combinado de gás natural) pela matriz de produção de eletricidade média brasileira nos cenários com eletricidade evitada (*1.d*, *1.e*, *2.d* e *2.e*) resultou num aumento da *GWP100*. Contudo, apenas o cenário *1.e* (incineração) foi severamente afetado, quase duplicando o impacto da *GWP100*. Contrariamente, nas restantes categorias não houve aumento, sendo que os impactos diminuíram na *HT-non CE* e *TAD* para todos os cenários. Isto relaciona-se com as emissões evitadas de zinco e arsénico durante a produção de etanol, que faz parte da matriz da energia elétrica brasileira.

Por último, uma redução de 1:1 a 1:0,9 na taxa de substituição de coque, na *Classe 3*, resultou em efeitos proporcionais relevantes nas poupanças. Uma mudança de 10% no rácio de substituição, afetou especialmente os cenários *3.a* e *3.c*, resultando num decréscimo de 22-25% nas poupanças ambientais, na categoria de impacto *GWP100*. Já os sistemas *3.b* e *3.d* mostraram uma diminuição de 11-13%.

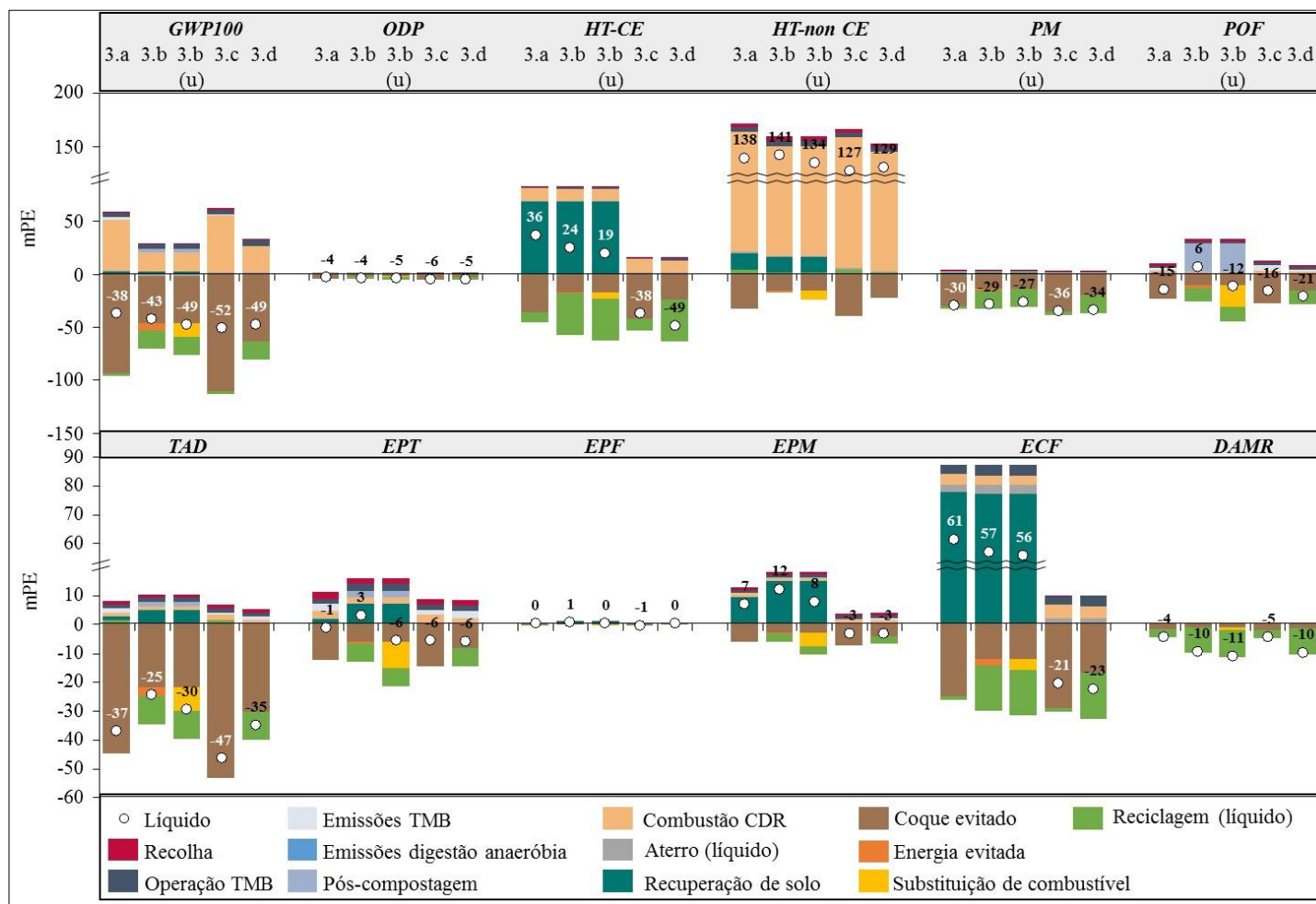


Figura 10-3: Resultados líquidos normalizados da *Classe 3* em miliequivalentes de pessoa (mPE): potencial de aquecimento global (*GWP100*), potencial de destruição da camada de ozônio (*ODP*), toxicidade humana, efeitos cancerígenos (*HT-CE*), toxicidade humana, efeitos não cancerígenos (*HT-non CE*), material particulado (*PM*), formação de oxidantes fotoquímicos (*POF*), acidificação terrestre (*TAD*), eutrofização terrestre (*EPT*), eutrofização da água doce (*EPF*), eutrofização marinha (*EPM*), ecotoxicidade da água doce (*ECF*), destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis (*DAMR*).

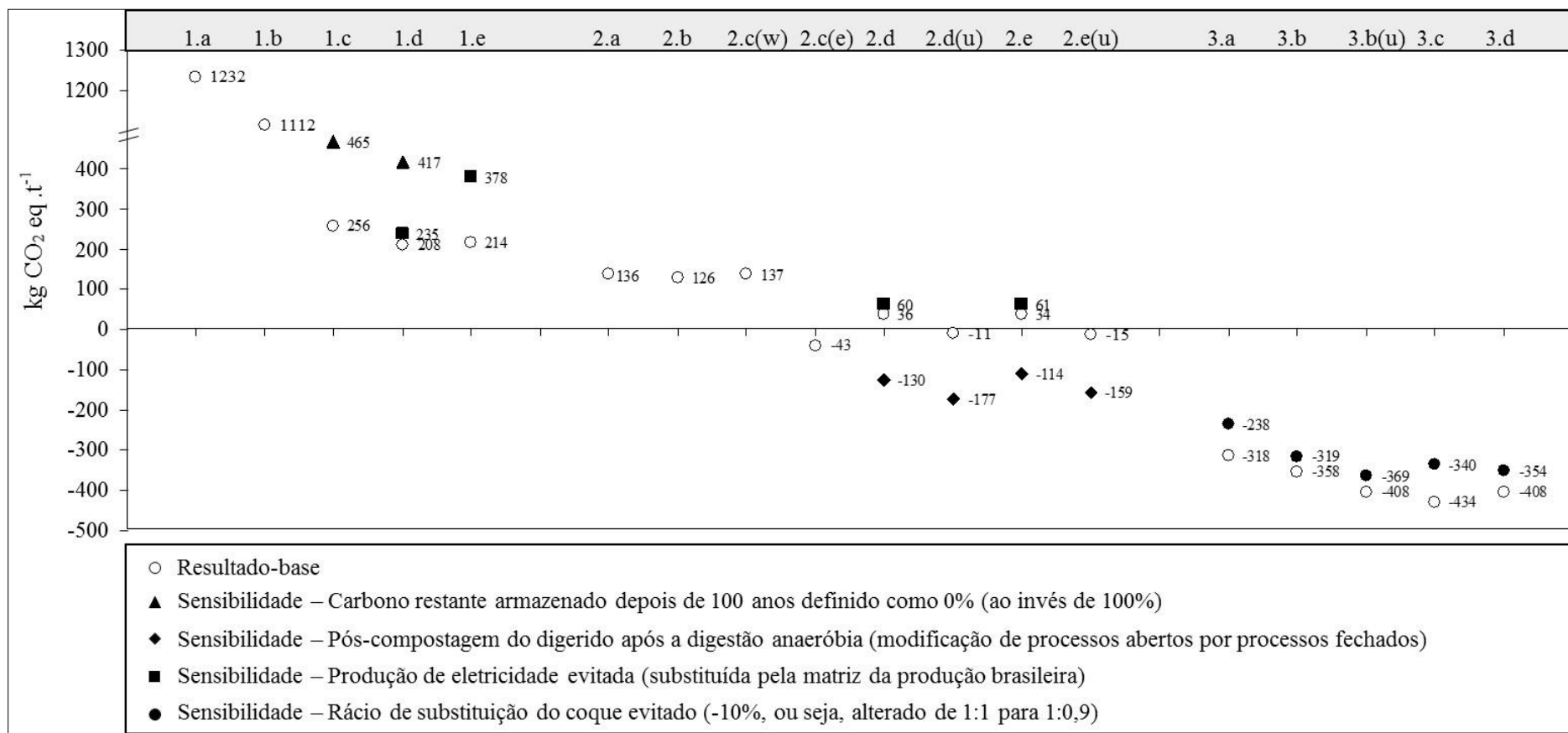


Figura 10-4: Resultados da análise de sensibilidade, em kgCO₂eq·t⁻¹, para a categoria de impacto potencial de aquecimento global (GWP100).

10.4. Discussão

Os cenários avaliados neste estudo foram modelados para serem centrados nas tecnologias. Apesar de serem potenciais cenários de gestão para os RU no Brasil, não foram avaliados de forma exaustiva, especialmente se forem consideradas as variedades de combinações de tecnologias possíveis. De qualquer modo, este trabalho esclarece principalmente os potenciais impactos e poupanças ambientais das tecnologias comparadas, que devem ser usadas no planejamento de sistemas de gestão de RU que considerem as especificidades das áreas a serem instaladas as tecnologias (por exemplo, densidade populacional). Os impactos do atual modelo de gestão de RU no Brasil, podem ser aproximadamente estimados, agregando os sistemas 1.a, 1.b e 1.c analisados neste estudo.

Os resultados normalizados para o atual modelo de gestão dos RU no país estão ilustrados na Figura 10-5. Para a *GWP100*, por exemplo, os resultados sugerem um potencial impacto de 626 kg CO₂eq·t⁻¹ de RU, que extrapolado para o nível nacional, seria responsável por aproximadamente 48×10⁶ t CO₂eq relacionados com a deposição final do RU recolhido num ano.

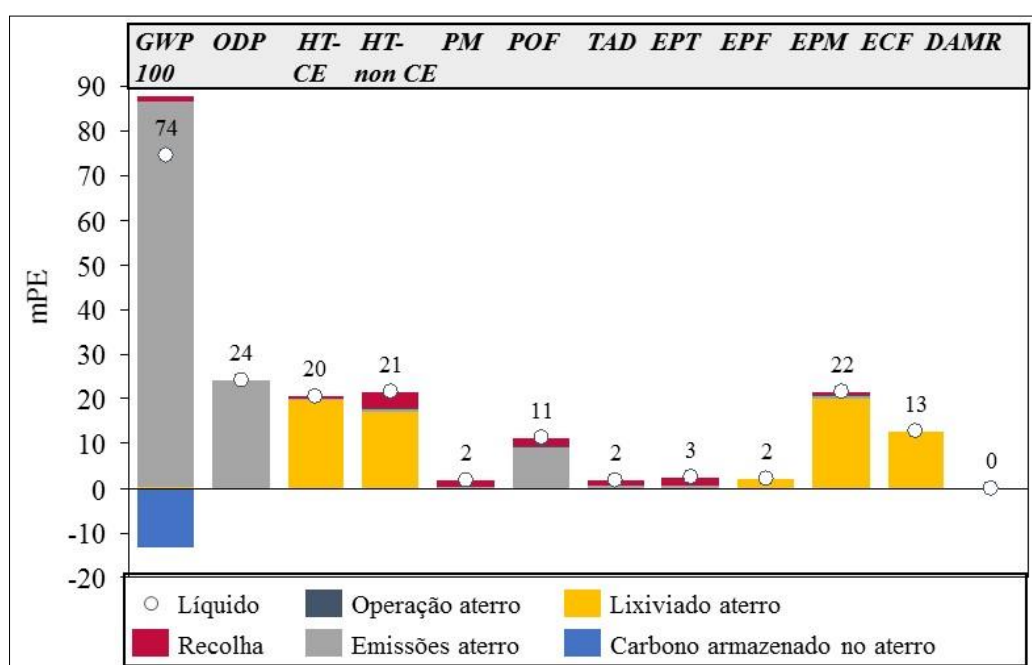


Figura 10-5: Impacto médio da gestão de RU recolhido no Brasil, em 2016 (17% para lixeiras, 25% para aterro controlado e 54% para aterro licenciado sem recuperação de biogás).

Os programas de recolha seletiva crescem lentamente no Brasil, mas não uniformemente, por estarem tipicamente implementados em áreas limitadas. Onde a recolha de recicláveis secos foi implementada, mesmo após vários anos, as taxas de desvio só atingiram cerca de 10% (Ibáñez-Forés et al., 2017). A recolha seletiva, baseada num sistema de três fluxos (reciclagem de recicláveis secos, biorresíduos e refugos de tratamentos) é teoricamente possível, mas exige um maior esforço para que se tenha uma abrangência significativa a curto e médio prazo. No entanto, observou-se que a recolha simples de fluxos húmidos e recicláveis secos poderia causar problemas na qualidade do fertilizante produzido, pois o resíduo húmido provavelmente manter-se-á contaminado mesmo com pré e pós-tratamentos exaustivos.

Já a recolha diferenciada de biorresíduos não garante que o fluxo será substancialmente mais limpo, mas deverá ser priorizada, especialmente nos casos em que grandes quantidades de homogêneas destes resíduos são produzidas, tais como nas feiras de produtos hortícolas (frutas, verduras e legumes) e restaurantes.

A partir dos cenários 2.a, 2.b, 3.a e 3.b, foi possível calcular as taxas de reciclagem teóricas para os cenários (nos recicláveis secos). Além disso, a maior taxa de reciclagem foi alcançada nos cenários 3.b e 3.d, com uma taxa de recuperação de 14,5%. A presença de centrais de triagem e TMB com separação expandida para recuperar diversos materiais para a reciclagem, é estabelecida em alguns países da América do Norte e da Europa. Os TMB podem ser modulares, com vários graus de automação e respetivos requisitos de mão-de-obra e custos de infraestrutura relacionados, ajustando-se às diversas situações locais. Contudo, não se pode desconsiderar que em sistemas mais avançados, são necessários investimentos significativos e pessoal treinado. Além disso, a operação é altamente dependente na manutenção diligente e a eficiência deste sistema pode ser mais influenciada do que para outras tecnologias, como a incineração, pela prática operacional.

No Brasil há considerável urgência para um planeamento estratégico abrangente, suportado por estudos científicos, de ação imediata e que se estenda a longo prazo para mitigar o impacto das atuais práticas impróprias de gestão dos RU. O progresso é retardado por consideráveis desafios políticos, económicos, sociais e locais (Campos, 2014). Segundo Rodić e Wilson (2017), nenhuma tecnologia consegue solucionar, por si mesma, os entraves relacionados com a sustentabilidade económica e social de um modelo de

gestão de resíduos. Estes autores acrescentam ainda que essas ações necessárias nos países em desenvolvimento têm de se centrar sobre questões de governação.

As análises exaustivas da gestão de RU no Brasil são ainda mais dificultadas por vários aspetos. O Brasil não tem padrões para análise da caracterização destes resíduos, por isso, os dados encontrados em relação à caracterização dos RU têm incertezas difíceis de estimar. Além disso, as propriedades físico-químicas usadas na maioria dos estudos até à data, incluindo o presente trabalho, não são baseadas em análises de resíduos brasileiros. Variações na composição e nas propriedades físico-químicas podem alterar, por vezes significativamente, os resultados de uma ACV (Bisinella et al., 2017). Outro aspeto que limita a precisão é a intervenção do setor informal, que desempenha um papel importante no sistema de gestão de resíduos no Brasil. A eficiência e a escala da sua interceção é difícil de medir e, portanto, normalmente é ignorada. A maioria das análises municipais nem sequer menciona esses trabalhadores, o que limita a possibilidade de incluir as contribuições ambientais, económicas e sociais do setor informal para todo o sistema.

10.5. Considerações finais

A comparação entre três diferentes categorias de sistemas forneceu uma visão geral dos sistemas atuais e das alternativas tecnológicas para a gestão dos RU no Brasil. A *Classe 1* avaliou opções de sistemas de eliminação direta de RU, desde os proeminentes sistemas de deposição final imprópria de resíduos no país (lixeiros e aterros controlados), até os aterros licenciados (com e sem recuperação do biogás) e a incineração. Os resultados confirmaram o elevado passivo ambiental da deposição final imprópria (que ainda representa 42,6% dos RU recolhidos no Brasil).

A *Classe 2*, baseada em dois fluxos de resíduos (húmido e seco), mostrou um melhor desempenho ambiental. A reciclagem contribuiu com economias significativas, no entanto deve ser dada especial atenção ao tratamento dos biorresíduos. O uso de tecnologias, incluindo o tratamento das emissões atmosféricas dos processos de degradação se mostraram essenciais, mesmo após os processos de DA. A purificação do biogás e a sua utilização como combustível veicular resultou na maior economia em comparação a produção de eletricidade. O uso de composto foi indicado como potencialmente prejudicial, devido aos níveis de contaminação por metais pesados nos RU húmidos.

Quanto para a *Classe 3*, os TMB tiveram benefícios ambientais na maioria das categorias de impacto. A produção e utilização de CDR no fabrico de cimento, substituindo o coque de petróleo, contribuiu com as maiores poupanças. A utilização de CDR carece de mais investigação no contexto brasileiro, a fim de se testar a viabilidade técnica, económica e ambiental. Por fim, os sistemas de TMB, que incluem recursos estendidos para recuperar recicláveis secos, também podem contribuir significativamente para a reciclagem no Brasil.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Brasil (o 2º autor, Diogo Appel Colvero, é investigador do CNPq, Processo n.º 207172/2014-5) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

Referências Bibliográficas

- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2013). Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2017). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016*. [https://doi.org/ISSN 2179-8303](https://doi.org/ISSN%202179-8303)
- Alfaia, R. G. de S. M., Costa, A. M., & Campos, J. C. (2017). *Municipal solid waste in Brazil: A review*. Waste Management & Research, 0734242X1773537. <https://doi.org/10.1177/0734242X17735375>
- Amlinger, F., Peyr, S., & Cuhls, C. (2008). Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. Waste Management & Research, 26(1), 47–60. <https://doi.org/10.1177/0734242X07088432>
- Andersen, J. K., Boldrin, A., Christensen, T. H., & Scheutz, C. (2010). Mass balances and life-cycle inventory for a garden waste windrow composting plant (Aarhus, Denmark). Waste Management & Research, 28(11), 1010–1020. <https://doi.org/10.1177/0734242X10360216>
- Aquino, I. F. de, Castilho Júnior., A. B. de, & Pires, T. S. D. L. (2009). A organização em rede dos catadores de materiais recicláveis na cadeia produtiva reversa de pós-consumo da região da grande Florianópolis: uma alternativa de agregação de valor. Gestão & Produção, 16(1), 15–24. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2009000100003>
- Bassi, S. A., Christensen, T. H., & Damgaard, A. (2017). Environmental performance of household waste management in Europe - an example of 7 countries. Technical University of Denmark. Lyngby, Denmark. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.042>

- Bernstad Saraiva, A., Souza, R. G., & Valle, R. A. B. (2017). Comparative lifecycle assessment of alternatives for waste management in Rio de Janeiro – Investigating the influence of an attributional or consequential approach. *Waste Management*, 68, 701–710. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.002>
- Bisinella, V., Götze, R., Conradsen, K., Damgaard, A., Christensen, T. H., & Astrup, T. F. (2017). Importance of waste composition for Life Cycle Assessment of waste management solutions. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1180–1191. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.013>
- Brasil. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. (2010). Brasília, DF: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm
- Campos, H. K. T. (2014). Recycling in Brazil: Challenges and prospects. *Resources, Conservation and Recycling*, 85, 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.017>
- Christensen, T. H., Gentil, E., Boldrin, A., Larsen, A. W., Weidema, B. P., & Hauschild, M. (2009). C balance, carbon dioxide emissions and global warming potentials in LCA-modelling of waste management systems. *Waste Management & Research*, 27(8), 707–715. <https://doi.org/10.1177/0734242x08096304>
- Cimpan, C., Maul, A., Jansen, M., Pretz, T., & Wenzel, H. (2015). Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: A review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling. *Journal of Environmental Management*, 156, 181–199. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.03.025>
- Cimpan, C., Maul, A., Wenzel, H., & Pretz, T. (2016). Techno-economic assessment of central sorting at material recovery facilities - The case of lightweight packaging waste. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4387–4397. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.011>
- Clavreul, J., Baumeister, H., Christensen, T. H., & Damgaard, A. (2014). An environmental assessment system for environmental technologies. *Environmental Modelling & Software*, 60, 18–30. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.06.007>
- Clift, R., Doig, A., & Finnveden, G. (2000). The Application of Life Cycle Assessment to Integrated Solid Waste Management. *Trans IChemE*, 78(4), 279–287. <https://doi.org/10.1205/095758200530790>
- Colón, J., Cadena, E., Pognani, M., Maulini, C., Barrena, R., Sánchez, A., ... Artola, A. (2015). Environmental burdens of source-selected biowaste treatments: comparing scenarios to fulfil the European Union landfill directive. The case of Catalonia. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 12(3), 165–187. <https://doi.org/10.1080/1943815X.2015.1062030>
- Colvero, D. A., Pfeiffer, S. C., & Carvalho, E. H. de. (2016). Materiais recicláveis provindos dos resíduos urbanos: caso de estudo para o estado de Goiás, Brasil. In P. J. Ramísio, G. A. Lopes, L. M. C. Pinto, F. Leite, & M. J. Rosa (Eds.), *A Engenharia Sanitária nas Cidades do Futuro: Livro de Comunicações do 17.o Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental/ENASB* (pp. 713–720). Lisboa.

- Cong, R. G., Caro, D., & Thomsen, M. (2017). Is it beneficial to use biogas in the Danish transport sector? – An environmental-economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 165, 1025–1035. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.183>
- De Beer, J., Cihlar, J., Hensing, I., & Zabeti, M. (2017). Recent Development on the Uses of Alternative Fuels in Cement Manufacturing Process.
- DEFRA – Department for Environment, Food and Rural Affairs. (2011). Emissions from Waste Management Facilities, WR 0608. London, UK: Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra).
- Delgado, O., & Muncrief, R. (2015). Assessment of Heavy-Duty Natural Gas Vehicle Emissions: Implications and Policy Recommendations. Washington DC.
- DTU – Technical University of Denmark. (2016). EASETECH Impact categories and impact methods. Kgs. Lyngby, Denmark. Retrieved from Personal Communication with Dr. Anders Damgaard, DTU.
- EC – European Commission. (2006). Best Available Techniques for the Waste Treatment Industries – reference document. Seville, Spain: Integrated Pollution Prevention and Control Bureau, Joint Research Centre.
- EC – European Commission. (2010). General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. Office of the European Union (1a ed.). Luxembourg: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. <https://doi.org/10.2788/38479>
- EC – European Commission. (2011). Supporting Environmentally Sound Decisions for Waste Management. A Technical Guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA) for Waste Experts and LCA Practitioners. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Fricke, K., Santen, H., & Wallmann, R. (2005). Comparison of selected aerobic and anaerobic procedures for MSW treatment. *Waste Management*, 25(8), 799–810. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.12.018>
- Genon, G., & Brizio, E. (2008). Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF. *Waste Management*, 28(11), 2375–2385. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.10.022>
- Goulart Coelho, L.M., & Lange, L.C. (2016). Applying life cycle assessment to support environmentally sustainable waste management strategies in Brazil. *Resour. Conserv. Recycl.* <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.026>.
- Hakawati, R., Smyth, B. M., McCullough, G., De Rosa, F., & Rooney, D. (2017). What is the most energy efficient route for biogas utilization: Heat, electricity or transport? *Applied Energy*, 206, 1076–1087. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.068>
- Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). A Global Review of Solid Waste Management. World Bank Urban Development Series Knowledge Papers, 1–116. <https://doi.org/10.1111/febs.13058>
- Ibáñez-Forés, V., Bovea, M. D., Coutinho-Nóbrega, C., de Medeiros-García, H. R., & Barreto-Lins, R. (2017). Temporal evolution of the environmental performance of implementing selective collection in municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study. *Waste Management*, 72, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.027>

- IFC – International Finance Corporation. (2017). Increasing the Use of Alternative Fuels at Cement Plants: International Best Practice. Washington, DC.
- Lagerkvist, A., Ecke, H., & Christensen, T. H. (2011). Waste characterization: Approaches and methods. *Solid Waste Technology and Management*.
- Leme, M. M. V., Rocha, M. H., Silva, E. E. L., Lopes, B. M., & Ferreira, C. H. (2012). Environmental assessment of energy recovery technologies for the treatment and disposal of municipal solid waste using Life Cycle Assessment (LCA): A case study of Brazil. In *Proceedings of ECOS 2012 - The 25th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems* (pp. 1–9). Perugia, Italy.
- Leme, M. M. V., Rocha, M. H., Lora, E. E. S., Venturini, O. J., Lopes, B. M., & Ferreira, C. H. (2014). Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from Municipal Solid Waste MSW in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, 8–20. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.03.003>
- Manfredi, S., & Christensen, T. H. (2009). Environmental assessment of solid waste landfilling technologies by means of LCA-modeling. *Waste Management*, 29(1), 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.02.021>
- Mendes, M. R., Aramaki, T., & Hanaki, K. (2004). Comparison of the environmental impact of incineration and landfilling in São Paulo City as determined by LCA. *Resources, Conservation and Recycling*, 41(1), 47–63. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2003.08.003>
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2012). *Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PLANARES*. Brasília/DF. Retrieved from http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657
- MME – Ministério de Minas e Energia. (2017). *Resenha Energética Brasileira - Exercício de 2016*. Brasília/DF.
- Møller, J., Jensen, M. B., Kromann, M., Neidel, T. L., & Jakobsen, B. (2013). Miljø- og samfundsøkonomisk vurdering af muligheder for øget genanvendelse af papir, pap, plast, metal og organisk affald fra dagrenovation. Miljøprojekt nr. 1458. <https://doi.org/978-87-92903-80-8>
- Münnich, K., Mahler, C. F., & Fricke, K. (2006). Pilot project of mechanical-biological treatment of waste in Brazil. *Waste Management*, 26(2), 150–157. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.07.022>
- Naroznova, I., Møller, J., Larsen, B., & Scheutz, C. (2016). Evaluation of a new pulping technology for pre-treating source-separated organic household waste prior to anaerobic digestion. *Waste Management*, 50, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.042>
- Olesen, O. U., & Damgaard, A. (2014). Landfilling in EASETECH - Data collection and modelling of the landfill modules in EASETECH.

- PMCG – Prefeitura Municipal de Campo Grande. (2017). Plano de Coleta Seletiva de Campo Grande/MS. Estudo de caracterização física dos resíduos sólidos - versão 01. Campo Grande, MS, Brasil.
- Reichert, G. A., & Mendes, C. A. B. (2014). Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 19(3), 301–313. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000001145>
- Riber, C., Petersen, C., & Christensen, T. H. (2009). Chemical composition of material fractions in Danish household waste. *Waste Management*, 29(4), 1251–1257. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.09.013>
- Rigamonti, L., Grosso, M., & Biganzoli, L. (2012). Environmental Assessment of Refuse-Derived Fuel Co-Combustion in a Coal-Fired Power Plant. *Journal of Industrial Ecology*, 16(5), 748–760. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00428.x>
- Rodić, L., & Wilson, D. C. (2017). Resolving governance issues to achieve priority sustainable development goals related to solid waste management in developing countries. *Sustainability (Switzerland)*, 9(3), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su9030404>
- Rosa, B. P., Paula, B. C. D. L., Coleone, E. S. D. A., & Campos, F. (2017). *Impactos causados em cursos d'água por aterros controlados desativados no Município de São Paulo, Sudeste do Brasil*. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental E Sustentabilidade*, 4(2359-1412), 63–76.
- Sala, S., Crenna, E., Secchi, M., & Pant, R. (2017). Global normalisation factors for the Environmental Footprint and Life Cycle Assessment. <https://doi.org/10.2760/88930>
- Scachetti, M. T. (2016). Avaliação consequencial do Ciclo de Vida: discussão e aplicação comparativa com a abordagem atribucional. Universidade de São Paulo.
- Schalch, V., Leite, W. C. de A., Fernandes Júnior, J. L., & De Castro, M. C. A. A. (2002). *Gestão e Gerenciamento de Resíduos*. São Carlos/SP. Universidade de São Paulo.
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2017). *Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2015*, 173 p.. Retrieved from <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2015>
- SNSA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. (2016). *Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2014*. Brasília, DF, Brasil. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Velis, C. A., Longhurst, P. J., Drew, G. H., Smith, R., & Pollard, S. J. T. (2009). Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: A review of process science and engineering. *Bioresource Technology*, 100, 2747–2761. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.026>
- Veloso, S. (2014). BRICS and the challenges of fighting inequality. Rio de Janeiro.
- Vergara, S. E., Damgaard, A., & Gomez, D. (2016). The Efficiency of Informality: Quantifying Greenhouse Gas Reductions from Informal Recycling in Bogotá, Colombia. *Journal of Industrial Ecology*, 20(1), 107–119. <https://doi.org/10.1111/jiec.12257>

SECÇÃO E – Proposta de sistemas de gestão de RU para municípios de Goiás

Na Secção E estão apresentados três estudos, de modo que, a partir dos dados obtidos nas secções anteriores (B, C e D), realizaram-se análises para dois dos 46 sistemas de gestão de resíduos urbanos (SGRU) propostos para o Estado de Goiás. Estes SGRU analisados são partilhados e terão vida útil de 20 anos, sendo que um SGRU atenderá dois municípios com uma produção de resíduos urbanos (RU) inferior a $15 \text{ t} \cdot \text{dia}^{-1}$ e o outro SGRU atenderá 19 municípios que, juntos, tem uma produção de RU superior a $2\,000 \text{ t} \cdot \text{dia}^{-1}$ (o equivalente a mais de 43% da produção de RU de Goiás).

No primeiro estudo fez-se uma análise económica e ambiental de um SGRU proposto para dois municípios de pequeno porte (menores do que 50 mil habitantes). Este SGRU se situa na microrregião *Chapada dos Veadeiros*, na região *Nordeste Goiano*. A escolha por estes municípios se deu pelo facto de que são municípios que tem um serviço de recolha dos RU que não contempla toda a população, resíduos estes que acabam sendo encaminhados para lixeiras. Além disso, em 2015, 91% dos municípios goianos estavam enquadrados como de pequeno porte populacional, o que demonstra a necessidade de se encontrar alternativas para a gestão dos RU nestes municípios. Já no segundo e terceiro estudos realizaram-se, respetivamente, análise económica e análise ambiental para um SGRU proposto para 19 municípios situados em quatro diferentes microrregiões do Estado que englobam, dentre outros municípios, Goiânia, capital de Goiás.

Estes três estudos finalizam os objetivos propostos para esta tese de doutoramento acerca da gestão dos RU para o Estado de Goiás, Brasil.

As informações apresentadas nesta secção foram adaptadas das seguintes publicações:

Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. (2018). Proposal of an integrated municipal solid waste management (MSW) facilities for small municipalities. Artigo aceite para publicação no *The Journal of Solid Waste Technology and Management* em Agosto de 2018.

Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., Matos, M. A. A. de, & Ramalho, J. C. M. Analysis of a municipal solid waste management facility proposed for small municipalities. Submetido na *Revista Utilities Policy*, Abril de 2018.

Colvero, D. A., Gomes, A. P., Tarelho, L. A., & Matos, M. A. de. (2018). Custos de um sistema de gestão de resíduos urbanos para municípios de pequeno porte. In J. L. Ana Isabel Miranda, Myriam Lopes, Luís Tarelho, Filomena Martins, Peter Roebeling, Margarida Coelho (Ed.), *Conferência Internacional de Ambiente em Língua Portuguesa, XX Encontro da Rede de Estudos Ambientais de Países de Língua Portuguesa XI Conferência Nacional do Ambiente*. Aveiro, Portugal: Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro. (pp. 22–32). ISBN 978-972-789-540-3.

Colvero, D. A., Ramalho, J. C. M., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. Análise económica de um sistema de gestão de resíduos urbanos partilhado no Estado de Goiás, Brasil. In: *18.º Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENASB) e o 18.º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SILUBESA)*.

Colvero, D. A., Ramalho, J. C. M., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. Economic analysis of shared management of municipal solid waste in a metropolitan region. Submetido na *Revista Waste Management*, Julho de 2018.

Colvero, D. A., Ramalho, J. C. M., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. Life cycle assessment of shared MSW management facilities in a metropolitan region. Submetido na *Revista Environment, Development and Sustainability*. Agosto de 2018.

11. Análise económica de um sistema de gestão de resíduos urbanos para municípios de pequeno porte populacional

Resumo: No Estado de Goiás, Brasil, 91% dos municípios possuem população inferior a 50 mil habitantes. Sendo que, em 2015, somente 4% destes municípios de pequeno porte destinavam seus resíduos urbanos (RU) para aterros licenciados. Diante deste cenário, o objetivo deste estudo foi realizar uma análise dos custos necessários para a instalação e operação de um futuro sistema de gestão de resíduos urbanos (SGRU) partilhado entre dois municípios goianos de pequeno porte: Campos Belos e Monte Alegre de Goiás. Além disso, realizou-se uma análise das emissões dos gases de efeito de estufa (GEE) na recolha de materiais recicláveis. Escolheram-se estes municípios de pequeno porte porque atualmente encaminham seus RU para lixeiras. Para o SGRU proposto definiu-se a seguinte rota tecnológica: recolha indiferenciada de RU, recolha diferenciada de materiais recicláveis secos, compostagem doméstica, central de triagem e deposição final dos RU em aterro. Foram comparados os custos de investimento e operação para dois diferentes SGRU: o primeiro sistema será centralizado, ou seja, os RU serão recolhidos pelos dois fluxos de recolha e serão encaminhados ao SGRU proposto, que será composto por uma central de triagem e um aterro. O segundo sistema será descentralizado, no qual cada um dos dois municípios terá sua própria central de triagem, estando centralizado apenas o aterro. Os resultados apontaram que o SGRU descentralizado traz vantagens económicas relativamente a um SGRU centralizado. Além disso, independentemente do SGRU, cerca de 50% dos custos totais de investimento e operação referem-se à recolha e transporte dos RU. Considerando-se que os municípios arquem com os custos de investimento dos SGRU e os moradores com os custos de operação destes sistemas, estima-se um custo entre R\$ 14,1 domicílio⁻¹.mês⁻¹ a R\$ 15,3 domicílio⁻¹.mês⁻¹. Verificou-se ainda que o SGRU descentralizado emite menores quantitativos de GEE no transporte dos materiais recicláveis, o que evidencia que este tipo de sistema além de ser mais vantajoso economicamente, também traz benefícios ambientais.

Palavras-chave: Gestão partilhada; resíduos urbanos; análise económica; emissões dos GEE; municípios de pequeno porte; países em desenvolvimento.

11.1. Introdução

Os municípios do Estado de Goiás, Brasil, têm uma precária gestão dos resíduos urbanos (RU). O serviço de recolha dos RU ainda não abrange a totalidade da população, pois contempla 91% do total de RU produzidos no Estado (IMB, 2014b). Além disso, apenas 30,9% dos 246 municípios goianos possuem recolha diferenciada dos resíduos recicláveis, enquanto que somente 6,5% dos municípios enviam seus RU para aterros licenciados, segundo dados da Secretaria do Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos – SECIMA/GO (2015).

A situação é mais crítica nos 224 municípios goianos com população inferior a 50 mil habitantes (IBGE, 2016), também chamados de municípios de pequeno porte (Araújo & Nunes, 2013), em que apenas 4% enviam seus RU para aterros licenciados pela SECIMA/GO e 4,9% possuem central de triagem de materiais recicláveis secos. Essa situação é reflexo da carência de recursos económicos, de profissionais qualificados e de tecnologias apropriadas para se fazer a gestão dos RU (Andrade & Ferreira, 2011; Colvero, Carvalho, Pfeiffer, & Gomes, 2017). Salienta-se ainda que o foco na economia circular e nos princípios de prevenção são práticas incipientes no Estado de Goiás (Colvero, Gomes, Tarelho, & Matos, 2017). Além disso, verifica-se que existem escassas ações que objetivam por reduzir a geração de RU, tal como práticas que visem a alteração das formas de consumo das pessoas, assim como mecanismos de conscientização da população sobre os custos inseridos pelo uso dos recursos e dos impactos do ciclo de vida (Brasil, 2010; EC, 2011; Godecke, Naime, & Figueiredo, 2012). Segundo Abreu, Gandolfo, & Vilar (2016) e Figueiredo (2012), a deposição de resíduos misturados em aterros ou em lixeiras, é reflexo de uma gestão deficitária dos RU (realidade dos municípios goianos). Salienta-se que lixeiras são processos donde os RU são depositados em terrenos desocupados, sem que haja preocupação com critérios técnicos ou medidas que minimizem os riscos ao ambiente ou à saúde da população (Garcia et al. 2015; Nascimento, 2007).

Para alterar este panorama, os municípios goianos de pequeno porte precisam se unir para construir sistemas de gestão de RU (SGRU) partilhados, tal como preconiza a Lei n.º 12305, a chamada Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Brasil, 2010). No Estado de Goiás, há apenas uma situação em que dois municípios partilham a deposição final de RU: o município de Cidade Ocidental, que possui um aterro licenciado pela SECIMA/GO (2015), que recebe os RU do município vizinho Valparaíso de Goiás,

pois este não possui área livre de restrições para a instalação de um sistema de deposição final de RU (Colvero, Gomes, Tarelho, Matos, & Santos, 2018). Entretanto, não são municípios de pequeno porte, já que em 2015, Cidade Ocidental possuía 64 229 habitantes e Valparaíso de Goiás 153 255 habitantes (IBGE, 2016). No ano de 2013, estes dois municípios enviaram 150 t·dia⁻¹ de RU ao aterro partilhado (Colvero, Gomes, & Pfeiffer, 2015).

Desse modo, verifica-se que há uma necessidade de adequados SGRU por parte dos municípios goianos de pequeno porte. Assim, o objetivo deste estudo foi realizar uma análise dos custos envolvidos para o investimento e operação de um SGRU partilhado entre os municípios de Campos Belos e Monte Alegre de Goiás. Realizou-se também uma análise das emissões dos gases de efeito de estufa (GEE) dos veículos que farão a recolha de materiais recicláveis. Escolheram-se estes dois municípios situados no nordeste do Estado Goiás porque pelo quantitativo populacional ambos são classificados como de pequeno porte (IBGE, 2016). Além disso, estes municípios possuem um serviço de recolha que não contempla toda a população, não possuem recolha diferenciada e fazem a deposição final dos seus RU em lixeiras (SEMARH/GO, 2013; SECIMA/GO, 2015).

11.2. Materiais e métodos

11.2.1. Área de estudo

O Estado de Goiás, localizado no Centro-Oeste brasileiro, é dividido em 18 microrregiões do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sendo que esta distribuição por microrregiões visa criar territórios homogêneos e que sejam funcionais (Arrais, 2002; Romero, Marcuzzo, & Cardoso, 2014). Uma destas 18 microrregiões é a *Chapada dos Veadeiros* constituída por oito municípios (Figura 11-1). Esta microrregião faz fronteira com os Estados do Tocantins e da Bahia, além das microrregiões do IBGE do *Entorno do Distrito Federal*, *Porangatu* e *Vão do Paranã* (IMB, 2014a).

O SGRU partilhado proposto terá uma vida útil de 20 anos e abrangerá os municípios de Campos Belos e Monte Alegre de Goiás, situados na microrregião da *Chapada dos Veadeiros* (IMB, 2014a). Em 2010, ano do último censo demográfico oficial do Brasil, ambos os municípios possuíam uma população inferior a 20 mil habitantes (IBGE, 2010a), o que os enquadra na primeira faixa intervalar da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – até 30 mil habitantes (SNSA, 2016).

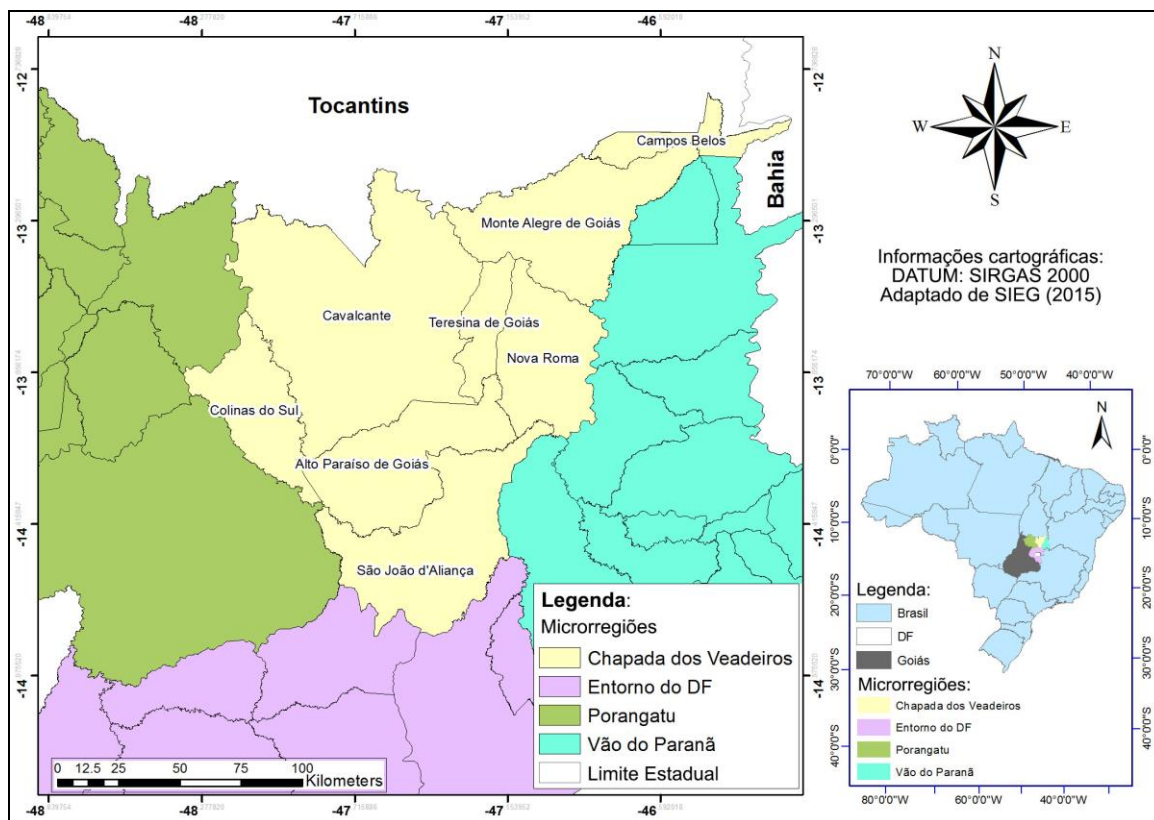


Figura 11-1: Microrregião da *Chapada dos Veadeiros*, Goiás, Brasil.

11.2.2. Definição do município-sede do SGRU proposto

O primeiro passo deste estudo foi definir o município-sede (MS) do SGRU partilhado proposto para receber, tratar e dispor os RU de Campos Belos e Monte Alegre de Goiás. Para isso, foram identificadas as áreas livres, sujeitas a aprovação ou restritas para a instalação de sistemas de deposição final de RU nestes dois municípios.

Assim como nos estudos de Gorsevski, Donevska, Mitrovski, & Frizado (2012), Gbanie, Tengbe, Momoh, Medo, & Kabba (2013) e Ferreira & Ferreira (2014), utilizou-se uma ferramenta de sistema de informação geográfica (SIG) para identificar as áreas não restritas para a instalação de sistemas de deposição final de RU. Para esta análise se empregou o *software ArcGIS*, versão 10.3.1, e os *shapefiles* do banco de dados do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás – SIEG (2015).

Para estabelecer estas áreas se utilizaram cinco documentos da legislação brasileira acerca dos parâmetros ambientais e geográficos que devem ser obedecidos para definir onde serão contruídos aterros. Estes documentos, elaborados por ABNT (1997), CONAMA (2010), Brasil (2012), SEMARH/GO (2014) e MMA (2015), definem diretrizes como as distâncias mínimas entre os aterros e: as áreas de preservação ambiental, os

aeródromos, as comunidades remanescentes e os cursos de água, além da declividade do terreno e o uso e ocupação do solo (conforme apresentado na Tabela E.1-1 do Anexo E.1).

Após a definição das áreas livres para que sejam construídos sistemas de deposição final de RU, identificou-se especificamente o MS do SGRU proposto. Para isso, utilizou-se a metodologia da geometria das massas, em que a partir do produto dos quantitativos de RU gerados e das coordenadas geográficas dos municípios que compõem o sistema de gestão, obtém-se o centro de massa (CM). Sendo que as coordenadas geográficas utilizadas para a identificação do CM foram as dos centros urbanos de cada um dos municípios, conforme os *shapefiles* de SIEG (2015). Obtiveram-se os CM utilizando-se as Equações 11-1 e 11-2 (Pereira, Franco, & Castilhos Júnior, 2013; Russo, 2003).

$$x = \frac{\sum (x_i \cdot P_i)}{\sum P_i} \text{ (Equação 11-1)}$$

$$y = \frac{\sum (y_i \cdot P_i)}{\sum P_i} \text{ (Equação 11-2)}$$

Em que:

x – longitude; y – latitude; x_i e y_i – coordenadas geográficas dos centros das áreas urbanas, em coordenadas UTM; P_i – produção média diária de RU de cada município, em $t \cdot dia^{-1}$. Os valores de x e y obtidos são as coordenadas geográficas onde está situado o CM.

Definiu-se ainda que os centros urbanos dos municípios de Campos Belos e de Monte Alegre de Goiás deverão estar a, no máximo, 25 km (Chen & Lo, 2016; FEAM & Engebio, 2010) do SGRU proposto. Estabeleceu-se 25 km porque esta distância é o chamado ponto de viragem, isto é, para distâncias superiores a 25 km é mais económico ter uma estação de transferência do que enviar diretamente os RU para o SGRU (US EPA, 2002).

11.2.3. As metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos e os cenários propostos

A partir da caracterização e da produção de RU (Tabelas E.1-2 e E.1-3 do Anexo E.1), assim como do quantitativo populacional dos municípios de Campos Belos e de Monte Alegre de Goiás; estabeleceu-se que o sistema de gestão proposto deve ser composto por um arranjo institucional simplificado (BNDES, 2014): recolha indiferenciada de RU, recolha diferenciada de materiais recicláveis secos, transporte, compostagem doméstica, central de triagem e deposição final em aterro dos refugos dos sistemas de tratamento de RU e dos resíduos indiferenciados.

Este SGRU proposto vai ao encontro do definido pela PNRS (Brasil, 2010), Comissão Europeia (CE) e pelo Decreto-Lei n.º 73/2011 (EC, 2008, Ministério do Ambiente, 2011), documentos legais que definem que a hierarquia de gestão dos resíduos deve ser aplicada enquanto princípio geral da legislação e da política de prevenção e gestão de resíduos. Salienta-se ainda que todos os SGRU dos municípios goianos devem buscar atender ao Plano Nacional de Resíduos Sólidos – PLANARES (MMA, 2012a), que definiu as metas de desvio de resíduos recicláveis secos e biorresíduos dos aterros (Tabela 11-1). Consideram-se biorresíduos os resíduos alimentares dos domicílios, escolas, restaurantes, escritórios e os resíduos biodegradáveis de parques e jardins (EU, 2018).

Tabela 11-1: Metas de desvio de resíduos urbanos dispostos em aterro no Estado de Goiás.

Meta	Plano de metas de desvios dos aterros				
	2015 (%)	2019 (%)	2023 (%)	2027 (%)	2031 (%)
Redução da percentagem de resíduos recicláveis secos depositados em aterro	13	15	18	21	25
Redução da percentagem de biorresíduos depositados em aterro	15	25	35	45	50

Fonte: Adaptado de MMA (2012a).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente brasileiro, um plano de gestão de resíduos sólidos deve contemplar diferentes cenários futuros. De modo que estes cenários devem apontar hipóteses de alternativas possíveis, imagináveis ou desejáveis na gestão destes resíduos, e precisam ser previstos para um horizonte de 20 anos (MMA, 2012b). A construção de cenários permite que sejam ordenadas as percepções acerca de situações alternativas para o futuro, de modo que se possa visualizar os resultados de cada cenário estabelecido (Reichert, 2013).

A partir das metas de desvios estabelecidas no PLANARES, foram criados três cenários futuros. Os cenários considerados serão avaliados entre os anos de 2020 (construção dos sistemas) e 2040 (fim da vida útil dos sistemas propostos). Sendo que as metas de desvios serão estabelecidas de 2021 (ano de início da operação dos sistemas) até 2031 (ano da última meta do PLANARES). De 2031 a 2040 será considerado que os sistemas atingirão a estabilidade, de modo a manter as percentagens de desvios obtidas em 2031. A produção de RU foi estimada a partir da geração *per capita* e da população estabelecida nos estudos de Colvero, Carvalho et al. (2017) e Colvero, Gomes et al. (2017), e extrapolada para um horizonte de 20 anos.

Assim, os três cenários futuros serão os seguintes:

- Cenário pessimista (*CP*): alcançar em 2023 as metas de desvios de aterros do PLANARES (MMA, 2012a) previstas para 2015 e, em 2031, as metas de desvios de aterros previstas para 2027. O *CP* será o mínimo desejado, considerando-se que o crescimento linear dos desvios de aterro é mais lento devido às dificuldades de implementação e operação de um sistema de gestão de RU. Neste cenário será considerado que as metas de desvios não são compatíveis com as percentagens de desvios de RU em países desenvolvidos (NURSOL/UFG, 2015), mas serão um importante avanço em comparação ao cenário atual destes municípios, que não possuem quaisquer desvios de resíduos recicláveis e de biorresíduos da operação de eliminação;

- Cenário moderado (*CMd*): alcançar em 2023 as metas de desvios de aterros do PLANARES (MMA, 2012a) previstas para 2019 e, em 2031, as metas de desvios de aterros a partir de um valor intermédio entre 2027 e 2031 (valor médio entre as metas de desvios para estes dois anos). Este cenário considera que as metas previstas para 2023 e 2031 ainda não serão alcançadas, mas terão um crescimento linear maior do que o apresentado no *CP*. O *CMd* é uma hipótese imaginável, em que a adesão da população à recolha diferenciada e à compostagem será maior que no *CP*;

- Cenário otimista (*CO*): alcançar em 2023 e 2031 as metas de desvios de aterros previstas para estes mesmos anos, conforme o PLANARES (MMA, 2012a). O *CO* considera que o SGRU proposto estará a operar em plenas condições, de modo a atingir as metas desejáveis.

Para identificar alternativas de gestão para os RU em Campos Belos e Monte Alegre de Goiás, estes três cenários serão avaliados para dois SGRU:

- SGRU centralizado: neste sistema os RU serão recolhidos pelos dois fluxos de recolha (indiferenciada e diferenciada), e serão encaminhados à sede do SGRU proposto que, será composto por uma central de triagem e um aterro. Além disso, cada município terá compostagem doméstica dos biorresíduos.

- SGRU descentralizado: para este sistema de gestão manter-se-ão os dois fluxos de recolha. Entretanto, cada município terá sua própria central de triagem, estando centralizado apenas o aterro (para receber os refugos da triagem e os RU da recolha indiferenciada). Neste SGRU, a ideia é descentralizar as operações até ao nível da autoridade local (ou seja, o município) e centralizar só a operação de eliminação (Matos et

al., 2012). No SGRU descentralizado os municípios possuirão ainda compostagem doméstica dos biorresíduos.

11.2.4. Custos do SGRU proposto

Com os cenários futuros definidos, calcularam-se os custos de investimento e operação e manutenção dos SGRU propostos (centralizado e descentralizado). Todos os valores calculados neste estudo foram atualizados monetariamente e extrapolados para o ano de 2020, data de início de projeto. Para esta extrapolação, utilizou-se a média da inflação no Brasil nos últimos 10 anos (de 2007 a 2016), que é de 6,2% ao ano (IBGE, 2017). Assim, utilizando-se a Equação 11-3, conforme Lima (2015) foi possível extrapolar todos os valores para 2020.

$$V_F = V_P \cdot (1 + i)^{n_{td}} \quad (\text{Equação 11-3})$$

Em que:

V_F – Valor futuro (R\$); V_P – Valor presente (R\$); i – Taxa de juros; n_{td} – tempo decorrido (anos).

Destaca-se ainda que há valores de custos de sistemas de gestão que estavam em Euros (EUR), sendo que para este estudo os custos foram calculados em Real (R\$), moeda corrente do Brasil. Para estes valores, antes da atualização monetária, realizou-se uma conversão monetária de EUR para R\$, conforme a cotação do Banco Central do Brasil – BCB (2017).

11.2.4.1. Custos de investimento e operação da recolha e transporte de RU

De acordo com o Decreto-Lei n.º 73/2011, a recolha é a apanha de resíduos, e inclui a triagem e armazenagem preliminares dos resíduos que, posteriormente, serão transportados para um sistema onde estes resíduos serão tratados (Ministério do Ambiente, 2011). Já o transporte de resíduos é denominado como a condução do veículo de recolha vazio da garagem para o ponto de início da rota de coleta, o deslocamento do veículo cheio, da última paragem da rota da recolha até o local de descarga de resíduos, e da condução do veículo vazio, da descarga até a garagem ou para uma nova rota de recolha (Larsen, Vrgoc, Christensen, & Lieberknecht, 2009).

Para se obter os custos de investimento dos veículos de recolha e transporte para os cenários propostos, primeiramente foi calculado o número de veículos de recolha (F_t), conforme a Equação 11-4 (TCM/GO, 2016). Como são municípios de pequeno porte, para

este estudo será considerado que este serviço será realizado durante o dia, ou seja, um turno de trabalho.

$$F_t = \frac{q}{NV \cdot C_n} \quad (\text{Equação 11-4})$$

Em que:

q – quantidade de resíduos recolhidos por dia (em t·dia⁻¹). A recolha indiferenciada de RU será em dias alternados – um dia com e outro dia sem recolha (TCM/GO, 2016) e a recolha diferenciada será semanal, conforme apontado por Pinheiro, Ribeiro, & Melo (2012) para o município de Goiânia, capital de Goiás; NV – é a quantidade de viagens diárias a serem realizadas por cada veículo de recolha; C_n – capacidade nominal dos veículos de recolha (em t).

Aos valores de F obtidos, acrescentou-se um valor de reserva técnica (RT , que é o número de veículos reserva). Conforme (ReCESA, 2009; TCM/GO, 2016), adotou-se um valor de RT de 10%, que é uma garantia de que não faltarão veículos para fazer a recolha dos RU no caso de avaria ou necessidade de manutenção em algum veículo de recolha.

De posse do número de veículos de recolha necessários para atender as recolhidas diferenciada e indiferenciada de Campos Belos e de Monte Alegre de Goiás, calcularam-se os custos de investimento para aquisição dos veículos de recolha que integrarão os SGRU propostos. Os custos unitários dos veículos para cada tipo de recolha foram obtidos utilizando-se as diretrizes da Resolução Administrativa n.º 099/2016 (TCM/GO, 2016), que define os modelos de veículos a serem utilizados na recolha de RU para os municípios do Estado de Goiás. Para a recolha indiferenciada definiu-se por um veículo com capacidade nominal de 10 t, utilizando-se assim um veículo de recolha da marca Volkswagen modelo 13-190, conforme estabelecido por TCM/GO (2016). Para obter o valor deste veículo utilizaram-se dados da FIPE (2017), que estabelece um preço de R\$ 172 743 para o modelo *13-190 E Worker 2p diesel* zero km. Como os valores de FIPE (2017) contemplam somente o preço dos veículos de recolha sem a unidade compactadora, adicionou-se ao custo do veículo uma percentagem de 35% (TCM/GO, 2016). Assim, o valor unitário de um veículo, já extrapolado para 2020, será de R\$ 279 457,8. Já para obter o preço dos veículos da recolha diferenciada utilizaram-se os valores de aquisição apresentados por PMTM (2015), que apontou para um custo de R\$ 202 797 (valor extrapolado para 2020).

Os custos com o investimento da recolha e transporte dos RU nos municípios em estudo estão relacionados com a aquisição dos veículos de recolha. De acordo com o Anexo I da Instrução Normativa da Secretaria da Receita Federal n.º 162, Brasil, estes veículos de recolha de RU têm uma taxa de depreciação de 20% e um prazo de vida útil de quatro anos (Brasil, 1998). O valor da depreciação de um veículo de recolha considera também caçamba compactadora (Lopes & Ferro, 2016). Como a depreciação dos veículos de recolha já estão contabilizadas nos custos dos serviços de recolha, quando for necessário trocar estes veículos, não será preciso refazer um investimento para aquisição destes equipamentos.

Já para os custos de operação e manutenção do sistema de recolha e o transporte de RU utilizou-se os dados apresentados por Reichert (2013). O autor aponta os custos para cada tipo de recolha (porta-a-porta, que será a recolha considerada neste estudo, por já estar consolidada nos municípios de Goiás), assim como para o transporte de resíduos. Estes custos estão apresentados na Tabela 11-2 (valores já extrapolados para o ano de 2020).

Tabela 11-2: Custos de recolha e transporte de RU (extrapolados para 2020).

Tipo de serviço	Custo (R\$.t ⁻¹)
Recolha indiferenciada porta-a-porta	131,39
Recolha diferenciada de resíduos recicláveis secos porta-a-porta	269,25
Transporte de RU	50,79

Fonte: Adaptado de Reichert (2013).

11.2.4.2. Custos da compostagem doméstica

Segundo Vázquez & Soto (2017), a compostagem doméstica é uma alternativa com grande potencial de gerir de forma sustentável os bioresíduos produzidos nos domicílios, pois possibilita que as famílias reduzam a quantidade de RU que chegam aos circuitos de recolha, ao mesmo tempo que ganham um composto de excelente qualidade para ser usado em suas hortas e jardins. Conforme Bruun, Hansen, Christensen, Magid, & Jensen (2006), a aplicação no solo de composto proveniente dos RU tem benefícios, como a substituição de parte dos fertilizantes minerais e a incorporação de matéria orgânica estabilizada (húmus).

A escolha deste tipo de tratamento para os biorresíduos deve-se ao facto de que os municípios brasileiros de pequeno porte têm uma característica peculiar, em que os moradores, quase na totalidade, residem em casas, sendo que os prédios residenciais são

quase inexistentes (Manfio & Benaduce, 2011). Além disso, os municípios de pequeno porte possuem muita terra, árvores, jardins e matas (Manfio & Benaduce, 2011), ou seja, muitos locais para se aplicar o composto produzido na compostagem doméstica.

A partir dos dados das *shapefiles* do SIEG (2017) identificou-se que 38,1% do solo de Campos Belos e de Monte Alegre de Goiás são do tipo Neossolo Flúvico e Neossolo Litólico (Figura E.1-1 do Anexo E.1). Este solo é pouco evoluído, sendo constituído por material mineral, ou por material orgânico com espessura inferior a 20 cm (EMBRAPA, 2006). De acordo com Malheiros, Campos, Oliveira, & Souza (2014), a utilização de composto orgânico proveniente dos RU como fertilizante natural do solo auxilia na retenção da humidade, assim como possibilita que as plantas aumentem o sistema radicular e o volume da massa vegetal. Ursolino, Moreno, & Nogueira (2015) apontaram que o uso de composto orgânico em Neossolo Flúvico e Neossolo Litólico aumentou a estabilidade dos agregados, o que auxilia na recuperação da qualidade física destes solos. Isso ocorre porque o composto atua como um condicionador, favorecendo a regeneração mais rápida do solo.

Para calcular os custos médios de investimento e operação da compostagem doméstica utilizaram-se os valores fornecidos por EC (2000), conforme apresentado na Tabela 11-3 (já extrapolados para o ano de 2020). Neste estudo considerou-se um compostor de 300 litros, com uma vida útil de 10 anos (Carvalho, Matos, & Gomes, 2011; EC, 2000), o que representa que ao final deste período será necessário um novo investimento em compostores.

Tabela 11-3: Custos de investimento e operação da compostagem doméstica (extrapolados para 2020).

Custos da compostagem doméstica	Custo médio (R\$.domicílio ⁻¹)
Investimento	238,1
Operação	1,0

Fonte: Adaptado de EC (2000).

11.2.4.3. Custos da triagem de materiais potencialmente recicláveis

De acordo com os dados de BNDES (2014), os custos para instalar e operar uma central de triagem com operação manual, estão apresentados na Tabela 11-4. Optou-se por unidades de triagem manual (ou seja, com mesas de separação e sem tapetes rolantes) porque são municípios onde a produção de recicláveis de 2021 a 2040 será inferior a 10 t.dia⁻¹ (BNDES, 2014).

Como os municípios são de diferentes portes populacionais, os custos unitários de instalação e operação e manutenção das centrais de triagem serão diferentes para cada município. Os custos de investimento do SGRU descentralizado (com uma central de triagem para cada município) serão de $\text{R\$}\cdot\text{t}^{-1}$ 25,2 para Campos Belos (município com população entre 10 mil e 30 mil habitantes) e de $\text{R\$}\cdot\text{t}^{-1}$ 50,3 para Monte Alegre (município com população inferior a 10 mil habitantes). Enquanto que os custos de operação e manutenção da central de triagem serão de $\text{R\$}\cdot\text{t}^{-1}$ 694 para o município com maior população e de $\text{R\$}\cdot\text{t}^{-1}$ 732,2 para o município com menos habitantes. Já para o SGRU centralizado, que receberá os materiais recicláveis dos dois municípios (população entre 10 mil e 30 mil habitantes), os valores de investimento e operação da central de triagem serão os mesmos aplicados para Campos Belos, município de maior porte populacional.

Tabela 11-4: Estimativa dos custos de investimento e operação de uma triagem de materiais recicláveis com operação manual (extrapolados para 2020).

Tipo de instalação	Investimento Inicial ($\text{R\$}\cdot\text{t}^{-1}$)	Custo de operação ($\text{R\$}\cdot\text{t}^{-1}$)
SGRU Centralizado:		
Campos Belos e Monte Alegre de Goiás	23,69	653,39
SGRU Descentralizado:		
Campos Belos	23,69	653,39
Monte Alegre de Goiás	47,39	689,30

Fonte: Adaptado de BNDES (2014).

11.2.4.4. Custos de investimento e operação do sistema de deposição final de RU

Para a deposição final dos refugos dos RU, calcularam-se os custos de instalação e de operação de um aterro partilhado (entre os municípios de Campos Belos e de Monte Alegre de Goiás). Para esta estimativa foi utilizada a metodologia de custos definida em estudo de Tsilemou & Panagiotakopoulos (2006). Estes autores utilizaram uma função de custos que abrange um aterro de pequeno porte, com capacidade de receber entre 500 e 60 000 $\text{t}\cdot\text{ano}^{-1}$ de RU, conforme apresentado na Tabela 11-5. Como se estima que o aterro do SGRU proposto receberá entre 3 500 a 4 750 $\text{t}\cdot\text{ano}^{-1}$ ao longo de sua vida útil, está dentro da faixa prevista por Tsilemou e Panagiotakopoulos (2006).

Tabela 11-5: Função de custos de instalações de deposição final de RU.

Tipo de instalação	Funções de custos sugeridas		Capacidade ($\text{t}\cdot\text{ano}^{-1}$)
	Investimento de capital inicial (R\$)	Custos de operação ($\text{R\$}\cdot\text{t}^{-1}$)	
Aterro de pequeno porte	$y = 6\,000 \cdot x^{0,6}$	$y = 100 \cdot x^{-0,3}$	$500 \leq x \leq 60\,000$

x: variável independente (quantitativo de resíduo); y: variável dependente (custo)

Fonte: Adaptado de Tsilemou & Panagiotakopoulos (2006).

11.2.5. Estimativa das emissões dos GEE na recolha e transporte de materiais recicláveis

A principal diferença entre os sistemas de gestão avaliados neste estudo são os deslocamentos realizados no transporte dos materiais recicláveis. Enquanto que no SGRU centralizado os recicláveis de Campos Belos e de Monte Alegre de Goiás serão transportados até uma central de triagem, no SGRU descentralizado os recicláveis serão transportados para duas centrais de triagem, situadas nos próprios municípios que produzem estes resíduos.

Assim, após calcular e comparar os custos de investimento e operação dos SGRU centralizado e descentralizado, utilizou-se a metodologia aplicada por Matos, Santos, Marinho, & Andrade (2017) para estimar as emissões dos GEE de cada veículo de recolha diferenciada para os dois SGRU. De acordo com Gentil, Christensen, & Aoustin (2009) e Machado, Carvalho, Gourc, Vilar, & Nascimento (2009) os mais relevantes GEE emitidos na gestão dos RU são o CO₂, o CH₄ e o N₂O. De modo que o primeiro dado necessário para o cálculo das emissões dos GEE é o consumo total de combustível do veículo de recolha de materiais recicláveis, em cada viagem realizada por estes veículos (obtido a partir do produto do consumo médio de combustível do veículo de recolha pela distância percorrida).

Considerou-se um consumo médio dos veículos de recolha de 3,17 km·L⁻¹ de diesel, combustível utilizado nestes veículos (MMA, 2011). Para obter a extensão total das ruas dos municípios de Campos Belos e de Monte Alegre de Goiás utilizou-se o *software ArcGIS*. Metodologia esta que foi aplicada no estudo de Pascoal Júnior, & Oliveira Filho (2010) para medir a extensão da malha viária utilizada do município de Irati, Brasil. Estes autores mencionaram que a ferramenta SIG oferece alternativas de obtenção de resultados a partir de dados espaciais que podem auxiliar os gestores públicos quanto à tomada de decisões. O *ArcGIS* também foi utilizado para calcular as distâncias percorridas no transporte dos recicláveis até as estações de triagem propostas para o SGRU centralizado e para o SGRU descentralizado. Como os deslocamentos com a recolha de recicláveis são os mesmos para os dois SGRU, a diferença entre o SGRU centralizado e o SGRU descentralizado estará nas distâncias com o transporte dos recicláveis até a triagem.

Assim, com o consumo total de diesel foi possível obter as emissões dos GEE em cada viagem realizada pelos veículos da recolha diferenciada. Para isso, é necessário ter o fator de emissão de cada um dos gases considerados neste estudo (que dependem do tipo

de combustível utilizado – Matos et al., 2017). Os fatores de emissão utilizados neste estudo foram: $2,617 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$ para o CO_2 , $0,0001 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$ para o CH_4 e de $0,00014 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$ para N_2O (MMA, 2011; IPCC, 2006). Multiplicando-se o valor de emissão obtido para cada gás pelo seu respectivo *Potencial de Aquecimento Global* (*GWP*) e depois somando-se os valores obtidos na multiplicação, obteve-se o resultado em CO_2 equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$). O *GWP* se refere ao poder de aquecimento global usando o CO_2 como parâmetro (Matos et al., 2017). Conforme FGV/EAESP (2011), os valores de *GWP* dos gases avaliados são: um para o CO_2 , 25 para o CH_4 e 298 para o N_2O .

11.3. Resultados e discussão

11.3.1. Município-sede do SGRU partilhado

A definição do CM dos municípios que integrarão um sistema de gestão partilhado possibilita que sejam reduzidos os custos com o transporte dos RU, pois o MS deste sistema estará centralizado e mais próximos aos centros geradores de resíduos (Bridi, 2008; Pereira et al., 2013). Assim, a partir identificação de que 41% da área dos municípios de Campos Belos e Monte Alegre de Goiás não são restritas para a construção de aterros (Figura 11-2), utilizou-se a metodologia da geometria das massas, para identificar o CM e, conseqüentemente, o município-sede do SGRU partilhado.

De modo que a área definida para o SGRU proposto será no município de será Monte Alegre de Goiás, local próximo à rodovia GO-118, uma estrada com pavimentação asfáltica. A área do SGRU proposto situa-se a menos de 5 km, em linha reta, do CM identificado. Conforme apresentado nas Figuras 11-3a e 11-3b, no sistema de gestão centralizado haverá a central de triagem junto ao aterro, enquanto que no sistema de gestão descentralizado, cada município terá sua central de triagem, estando centralizado somente o aterro.

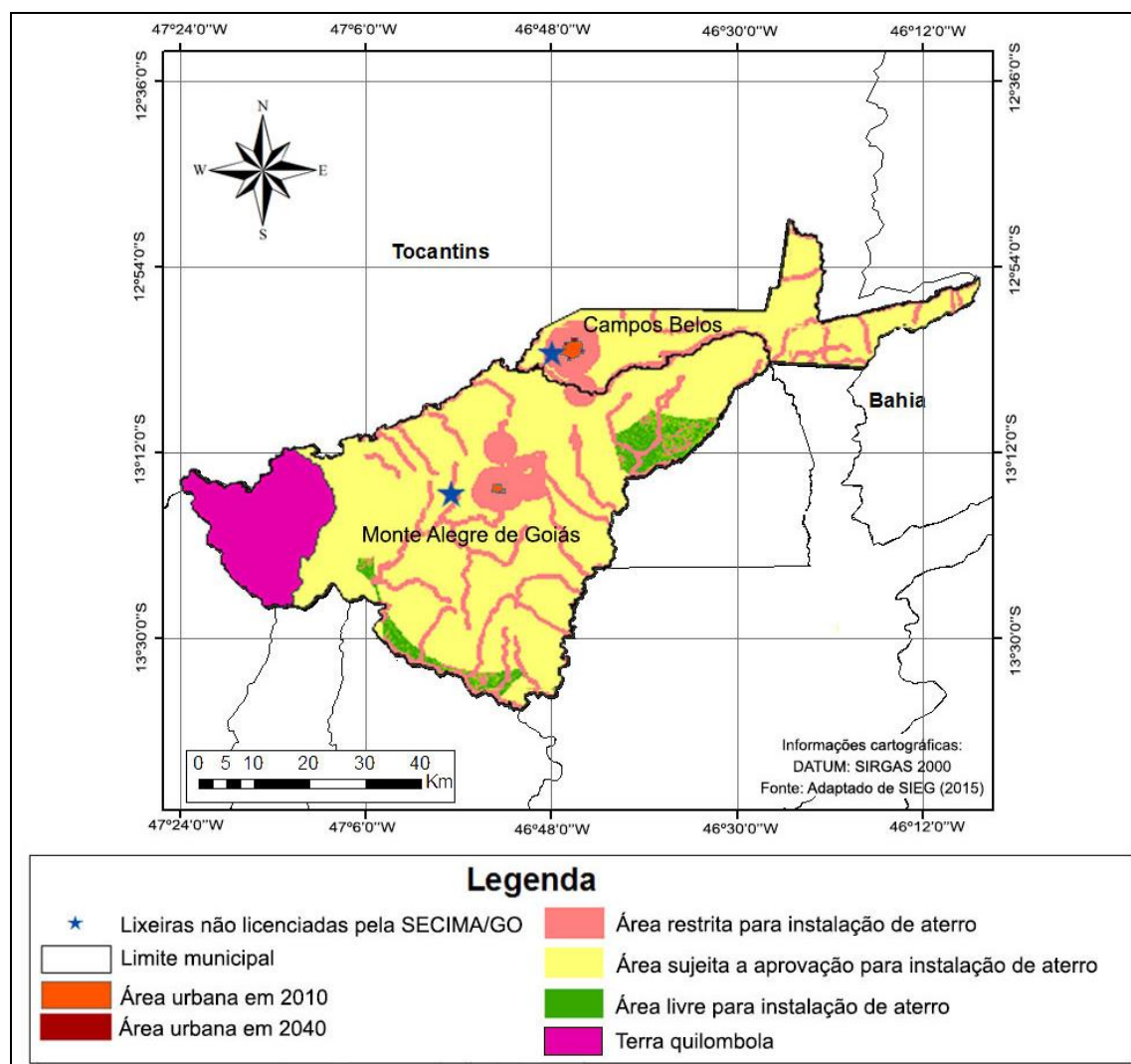


Figura 11-2: Áreas livres, sujeitas a aprovação e restritas para instalação de aterros nos municípios de Campos Belos e Monte Alegre de Goiás, Brasil.

As coordenadas geográficas dos centros urbanos dos municípios de Campos Belos e de Monte Alegre de Goiás, dos possíveis locais das centrais de triagem (uma para o SGRU centralizado e duas para o SGRU descentralizado) e do aterro estão apresentadas nas Tabelas E.1-4 e E.1-5 do Anexo E.1. Entretanto, a instalação de aterros ou quaisquer outros sistemas de gestão de RU só poderão ocorrer após a autorização do órgão de controle ambiental (OCA), ou seja, as áreas identificadas neste estudo não substituem a obrigatoriedade da licença do órgão competente para a construção de qualquer tipo de sistema de gestão de resíduos.

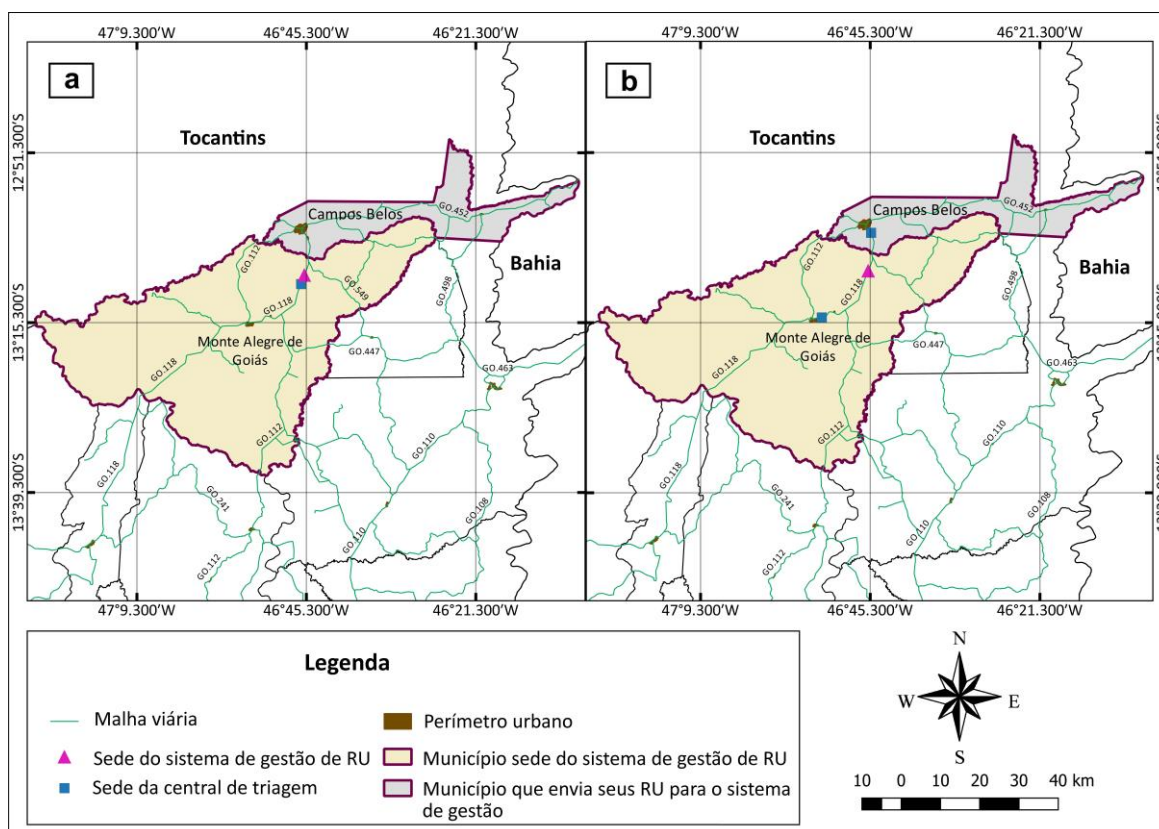


Figura 11-3: Sistemas de gestão de RU centralizado (a) e descentralizado (b) propostos para atender aos municípios de Campos Belos e de Monte Alegre de Goiás.

11.3.2. A produção de RU e as metas de desvios do PLANARES

Segundo dados de IMB (2014b), somente 80,2% dos RU produzidos em 2013 em Campos Belos e Monte Alegre de Goiás foram recolhidos, tendo como destino as lixeiras destes municípios. Os demais 19,8% não foram recolhidos, e acabaram por ser depositados em terrenos baldios e cursos de água. A percentagem de RU recolhidos nestes dois municípios é menor do que a média de RU coletados em Goiás, que é de 91% (IMB, 2014b). Além disso, nenhum dos municípios avaliados tem recolha diferenciada dos RU.

Considerando-se que a percentagem de RU recolhidos em 2013 manteve-se constante, verifica-se que em 2015 mais de 1 100 toneladas de RU deixaram de ser recolhidos (Tabela 11-6).

Tabela 11-6: Estimativa da produção anual e quantitativos de RU recolhidos e não recolhidos nos municípios de Campos Belos e Monte Alegre de Goiás em 2015.

Município	Produção de RU (t.ano ⁻¹)	Recolha indiferenciada de RU (t.ano ⁻¹)	Não recolhido (t.ano ⁻¹)
Campos Belos	4 069,7	3 697,3	372,4
Monte Alegre de Goiás	1 543,0	805,6	737,4
Total	5 612,7	4 502,9	1 109,8

O PLANARES definiu as taxas de desvios de materiais recicláveis e de biorresíduos apenas para os anos de 2015, 2019, 2023, 2027 e 2031. Assim, para cada um dos três cenários propostos foi necessário estabelecer os desvios anuais de resíduos entre os anos de 2021 a 2040. Considerando que os desvios terão um crescimento linear ao longo dos anos, obtiveram-se as percentagens de RU que devem ser desviadas anualmente.

As expressões matemáticas que traduzem os comportamentos previstos ao longo do tempo entre os anos de 2021 e 2040 para os desvios de materiais recicláveis e de biorresíduos (para os três diferentes cenários, tanto para o SGRU centralizado quanto para o SGRU descentralizado) estão representadas nas Figura 11-4 e 11-5 (e nas Equações E.1-1 a E.1-6 do Anexo E.1). Considerou-se que após o ano de 2031, as percentagens de resíduos desviados permanecerão constantes até 2040, ou seja, que os sistemas atingirão estabilidade.

Verifica-se, por exemplo, que as metas de desvios de recicláveis e de biorresíduos obtidas para o CO em 2023, só seria alcançada no CP em 2028 (Figuras 11-4 e 11-5).

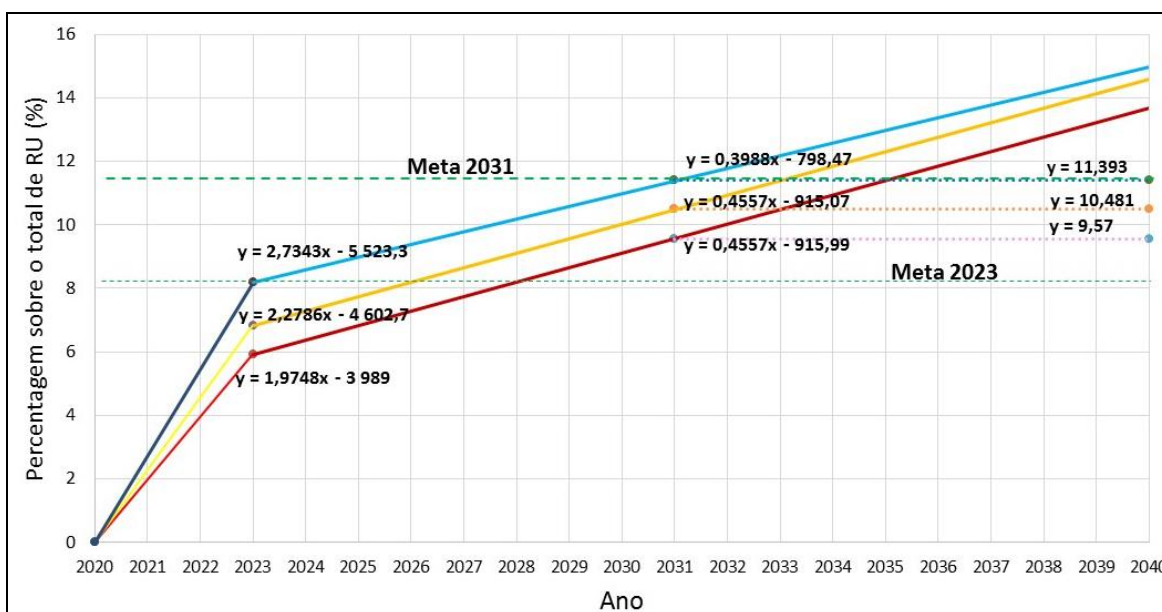


Figura 11-4: Desvios dos materiais recicláveis nos cenários pessimista, moderado e otimista, de 2021 a 2040 (tendo em conta os refugos dos sistemas de separação de resíduos).

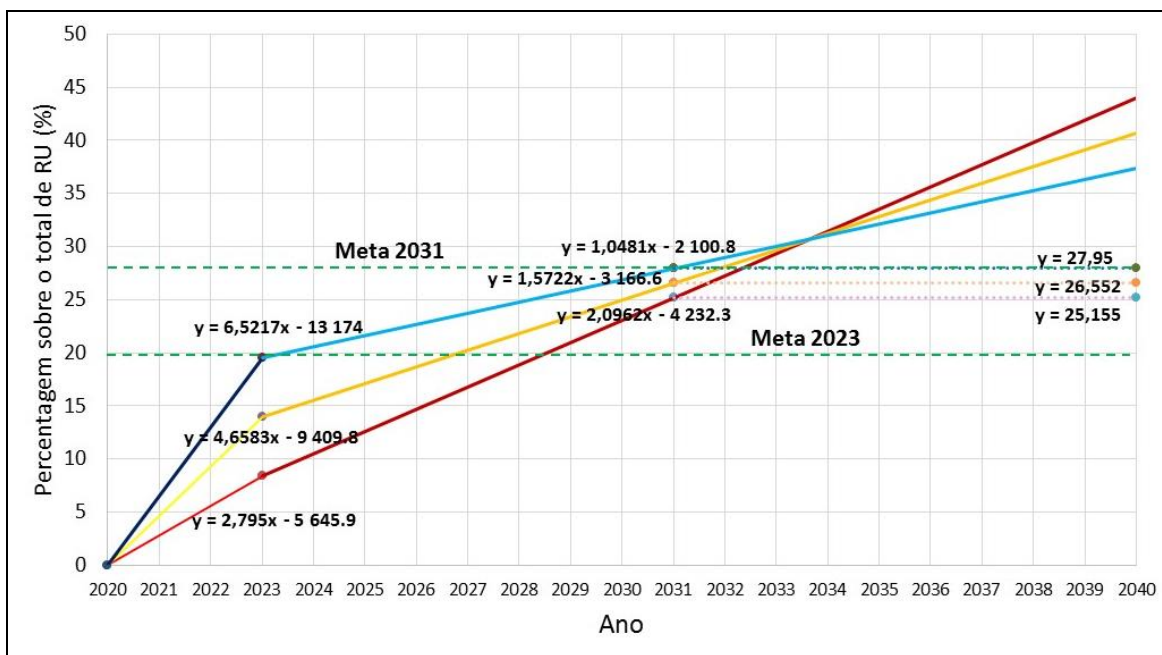


Figura 11-5: Desvios dos biorresíduos para os cenários pessimista, moderado e otimista, de 2021 a 2040.

No *CP* serão desviados ao longo de 20 anos cerca de 5,7% de materiais recicláveis e 19,3% de biorresíduos. Enquanto que no *CO*, serão desviados 7% de materiais recicláveis e 24,3% de biorresíduos (Tabela 11-7). Nestes 20 anos, num *CO*, serão enviadas cerca de 6 800 toneladas a menos de RU ao futuro aterro partilhado, em comparação com o *CP* (Tabela 11-7). Esta diferença de desvios entre o *CP* e o *CO* equivale a cerca de cinco anos da produção média de RU no município de Monte Alegre de Goiás durante os 20 anos de projeto.

Salienta-se que os desvios de materiais recicláveis na fonte deverão ser maiores que os desvios previstos no PLANARES. Esse acréscimo no desvio, que já está a ser considerado nas expressões matemáticas apresentadas na Figura 11-4, é necessário porque na triagem, local para onde serão enviados os materiais recicláveis, a eficiência média considerada é de 70% (APA, 2015; Colvero, Pfeiffer, & Carvalho, 2016). Enquanto que, para garantir que as metas de desvios dos biorresíduos serão atingidas, definiu-se por um acréscimo de 20% no número de compostores que serão distribuídos para além do quantitativo necessário para atingir as metas.

Tabela 11-7: Projeção dos quantitativos de RU que devem ser desviados do aterro entre os anos 2021 e 2040 para os cenários pessimista, moderado e otimista.

	Cenário Pessimista (CP)		Cenário Moderado (CMd)		Cenário Otimista (CO)	
	Campos Belos	Monte Alegre de Goiás	Campos Belos	Monte Alegre de Goiás	Campos Belos	Monte Alegre de Goiás
	tonelada	tonelada	tonelada	tonelada	tonelada	tonelada
Produção total RU	80 970	27 747	80 970	27 747	80 970	27 747
Desvio de recicláveis	4 594	1 569	5 085	1 737	5 647	1 930
Desvio de biorresíduos	15 665	5 341	17 667	6 031	19 668	6 721
Resíduos não desviados	60 711	20 837	58 218	19 979	55 655	19 096

Os quantitativos de RU desviados em 2031 (ano da última meta do PLANARES) nos SGRU centralizado e descentralizado, para um CO, estão apresentados nas Figuras 11-6 e 11-7. Verifica-se que ao todo serão desviados do aterro 1 955,8 toneladas de RU em 2031, o que representa 35,9% do total de RU que será produzido neste ano. Os demais 64,1%, que contemplam também os refugos da triagem, serão encaminhados ao aterro central que situar-se-á em Monte Alegre de Goiás. Tal como Colvero, Gomes et al. (2017), fez-se esta análise do fluxo dos RU com a ferramenta de *software* STAN[®] (versão 2.5).

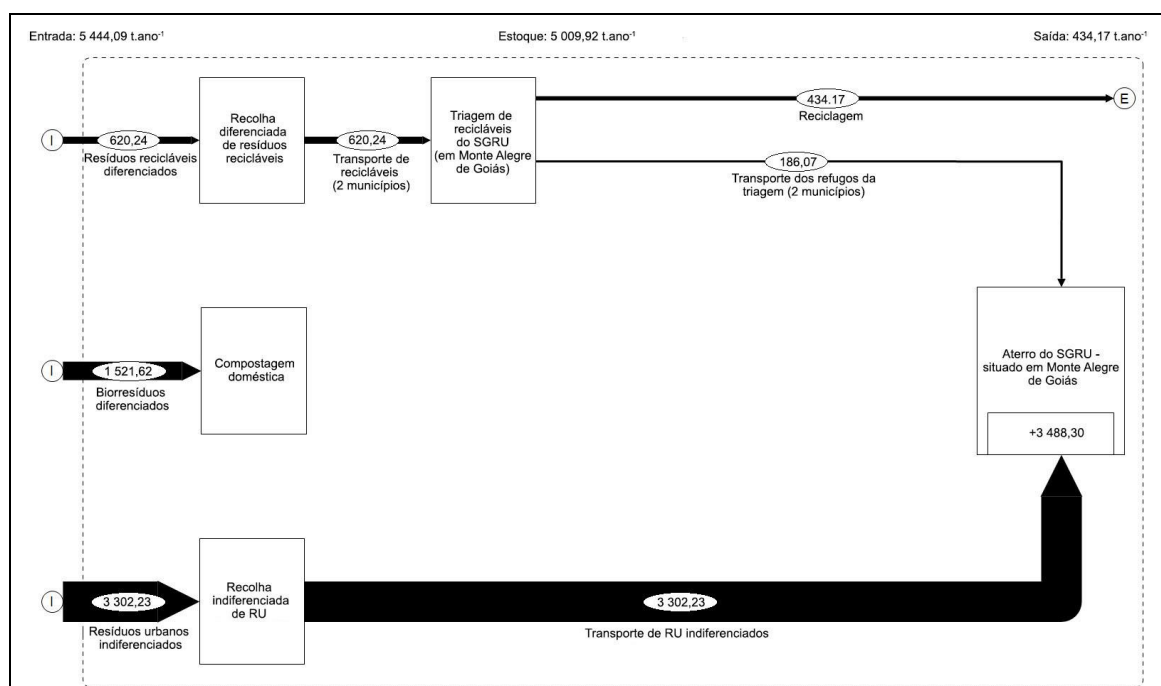


Figura 11-6: Sistema de gestão de RU centralizado, cenário otimista, meta de desvio de 2031.

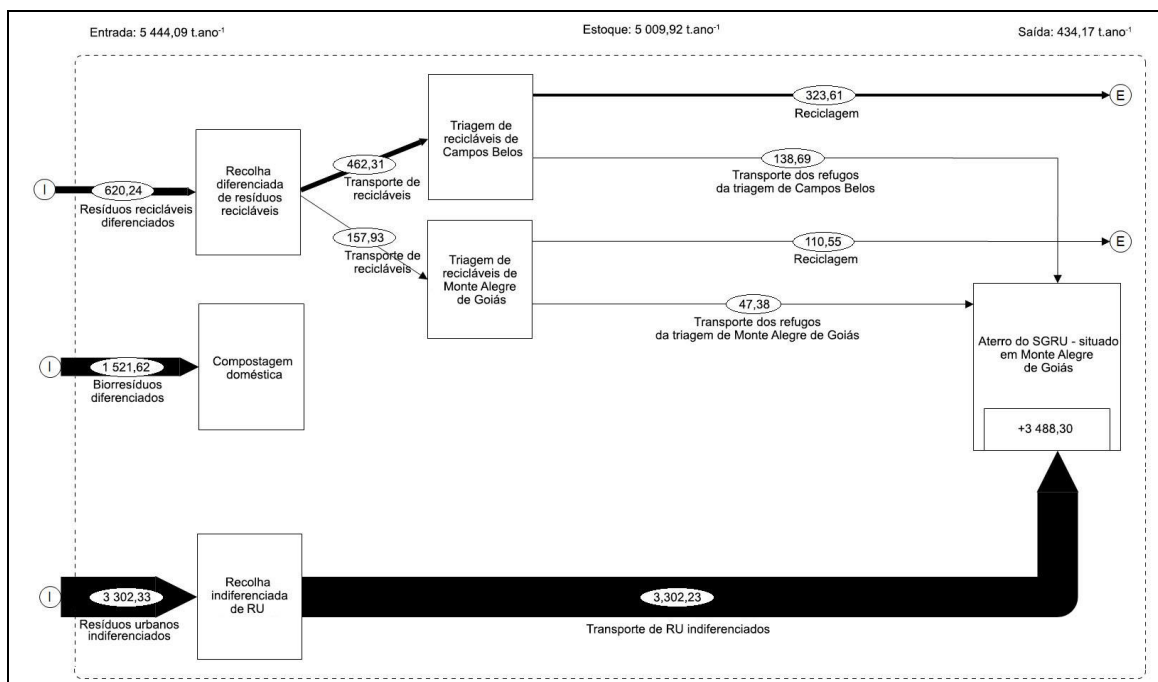


Figura 11-7: Sistema de gestão de RU descentralizado, cenário otimista, meta de desvio de 2031.

11.3.3. Comparativo dos custos de um SGRU centralizado com um SGRU descentralizado

Compararam-se os custos totais dos diferentes cenários para cada um dos dois SGRU propostos. Os resultados apontam que, confrontando-se mesmos cenários (*CP* com *CP*, *CMd* com *CMd* e *CO* com *CO*), ao final de 20 anos os custos totais de um SGRU centralizado serão sempre mais onerosos que um SGRU descentralizado (Tabela 11-8). Sendo que até mesmo quando há mudança de cenário, o SGRU descentralizado pode ser mais económico. É o que ocorre, quando se compara os custos do *CP* do SGRU centralizado com o *CMd* do SGRU descentralizado. Neste caso, após 20 anos o sistema de gestão descentralizado será R\$ 46 600 mais barato que o centralizado (valores extrapolados para 2020).

O factor responsável por tornar um SGRU descentralizado mais económico que um SGRU centralizado são os custos com o transporte dos materiais recicláveis. Os gastos com a recolha e transporte dos resíduos representam de 48,2% (*CO* do SGRU descentralizado) a 51,5% (*CP* do SGRU centralizado) dos custos totais com os futuros sistemas de gestão dos RU propostos. Se forem considerados apenas os custos de operação, os gastos com recolha e transporte representam entre 58,5% e 62,7% dos custos totais dos SGRU propostos. Valores que são compatíveis com estudo de Carvalho et al. (2011), que apontam que a recolha e o transporte de RU equivalem a pelo menos 60% dos custos da gestão de resíduos.

Tabela 11-8: Estimativa dos custos totais (R\$) de investimento e operação dos SGRU centralizado e descentralizado propostos para os municípios de Campos Belos e Monte Alegre de Goiás de 2020 a 2040, para os três cenários avaliados.

Sistema de Gestão:	Cenário Pessimista (CP)		Cenário Moderado (CMd)		Cenário Otimista (CO)	
	Centralizado	Descentralizado	Centralizado	Descentralizado	Centralizado	Descentralizado
Investimento						
Recolha indiferenciada	1 117 831	1 117 831	1 117 831	1 117 831	1 117 831	1 117 831
Recolha diferenciada	811 188	811 188	811 188	811 188	811 188	811 188
Compostagem doméstica	1 899 409	1 899 409	2 029 910	2 029 910	2 161 364	2 161 364
Triagem	208 630	261 749	230 946	289 755	256 473	321 801
Aterro	5 768 811	5 768 811	5 625 419	5 625 419	5 475 378	5 475 378
Total	9 805 869	9 858 988	9 815 294	9 874 103	9 822 234	9 887 562
Operação						
Recolha indiferenciada	10 367 413	10 367 413	9 890 102	9 890 102	9 394 984	9 394 984
Recolha diferenciada	2 370 721	2 370 721	2 624 307	2 624 307	2 914 382	2 914 382
Transporte indiferenciado	4 007 834	4 007 834	3 823 315	3 823 315	3 631 913	3 631 913
Transporte diferenciado	447 230	134 169	495 068	148 520	549 790	164 937
Compostagem doméstica	65 246	65 246	73 580	73 580	81 976	81 976
Triagem	5 753 127	5 839 291	6 368 513	6 463 839	7 072 452	7 178 195
Aterro	4 410 154	4 410 154	4 283 235	4 283 235	4 150 824	4 150 824
Total	27 421 725	27 194 828	27 558 120	27 306 898	27 796 321	27 517 211
Total Investimento e Operação	37 227 594	37 053 816	37 373 414	37 181 001	37 618 555	37 404 773

*Mais detalhes dos custos desta Tabela estão apresentados nas Tabelas E.1-6, E.1-7, E.1-8, E.1-9, E.1-10, E.1-11, E.1-12 e E.1-13 do do Anexo E.1.

Estes resultados evidenciam que uma triagem descentralizada, ou seja, mais perto da população, garante um menor esforço de transporte, o que acaba por ser menos oneroso e também causa um menor impacto ambiental (Carvalho et al., 2011). Espera-se ainda que um SGRU descentralizado garanta maior participação da população na gestão dos resíduos, assim como proporcione mais emprego e receita aos moradores dos próprios municípios. Salienta-se que os municípios que criarem centrais de triagem que absorvam os *catadores* de materiais recicláveis (pessoas que trabalham a apanhar este tipo de resíduos), terão prioridade no acesso aos recursos financeiros do governo do Brasil para a gestão dos resíduos (Brasil, 2010).

Conhecendo-se os quantitativos de materiais recicláveis que serão enviados para as centrais de triagem de Campos Belos e Monte Alegre de Goiás de 2021 a 2040, é possível estimar o número de *catadores* necessários para trabalhar na triagem dos materiais recicláveis. Considerando-se que nas centrais de triagem com operação manual a produtividade média de um *catador* varia de 2,0 a 2,5 t·mês⁻¹ de materiais triados (Colvero et al., 2016), obteve-se uma média que variou de 5 a 6 *catadores* na central de triagem de Monte Alegre de Goiás, e de 13 a 16 *catadores* na central de triagem de Campos Belos de Goiás. Esta variação do número de *catadores* se altera consoante aos cenários, ou seja, aos quantitativos de recicláveis que serão destinados à triagem (Tabela 11-9).

Tabela 11-9: Estimativa da média de *catadores* de materiais recicláveis necessários para trabalhar nas centrais de triagem, de 2021 a 2040 para os cenários pessimista, moderado e otimista.

	Cenário Pessimista (CP)		Cenário Moderado (CMd)		Cenário Otimista (CO)	
	Campos Belos	Monte Alegre de Goiás	Campos Belos	Monte Alegre de Goiás	Campos Belos	Monte Alegre de Goiás
Média do número de catadores	13	5	14	6	16	6

Destaca-se ainda que o SGRU centralizado é mais oneroso no período de 20 anos, porém, nos primeiros anos é mais barato que o SGRU descentralizado. A comparação entre os sistemas de gestão, independentemente do cenário, mostra que o SGRU descentralizado é mais oneroso que o SGRU centralizado desde a implementação (em 2020) até 2026. Após este ano um SGRU descentralizado é mais económico, conforme valores (em milhares de reais) apresentados para o CO na Figura 11-8 (e nas Figuras E.1-2 e E.1-3 do Anexo E.1 para o CP e CMd).

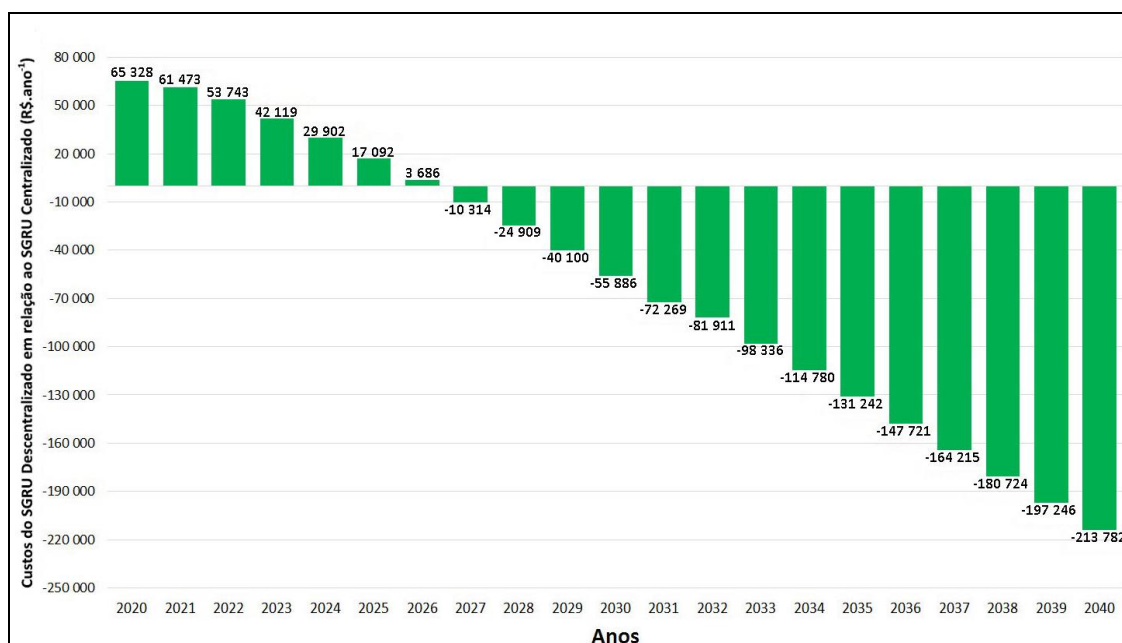


Figura 11-8: Comparação dos custos de investimento e operação de 2020 a 2040 de um SGRU descentralizado *versus* um SGRU centralizado – cenário otimista.

Os custos com a construção dos SGRU propostos para Campos Belos e Monte Alegre de Goiás serão de responsabilidade do governo do Estado de Goiás (NURSOL/UFG, 2015). A PNRS, ao apontar que deve haver cooperação técnica e financeira entre a iniciativa privada e o poder público para que estabeleçam novos sistemas de gestão de resíduos sólidos, indica de forma indireta, que uma alternativa para que os municípios e o Estado de Goiás consigam recursos para a implantação destes sistemas seriam as parcerias público-privadas (Brasil, 2010). Os custos de investimento dos SGRU (de responsabilidade dos municípios) serão de pouco mais de R\$ 7,1 milhões para o município de Campos Belos e de cerca de R\$ 2,7 milhões para o município de Monte Alegre de Goiás (valores extrapolados para 2020).

Já os custos com a operação e manutenção do SGRU proposto serão pagos por meio de cobrança à população de taxas ou tarifas, conforme definido na Lei n.º 11445 (Brasil, 2007). Cobrar pelos serviços de gestão dos RU é importante para garantir condições de sustentabilidade econômica destes sistemas (Brasil, 2007). Estes custos irão variar de acordo com cada SGRU (centralizado ou descentralizado), assim como com o cenário proposto. Com a média de habitantes por domicílio em cada município, foi possível estimar o valor médio mensal da tarifa que deverá ser cobrada de cada residência para cobrir os custos de operação e manutenção dos SGRU propostos, de 2021 a 2040. Estes valores, de acordo com

cada cenário, variaram de R\$ 14,1 domicílio⁻¹.mês⁻¹ a R\$ 15,3 domicílio⁻¹.mês⁻¹ (Tabela 11-10).

Tabela 11-10: Estimativa dos custos médios mensais por domicílio para cobrir os gastos com a operação dos SGRU propostos para Campos Belos e Monte Alegre de Goiás – de 2021 a 2040 (valores extrapolados para 2020).

	Custos SGRU Centralizado (R\$.domicílio ⁻¹ .mês ⁻¹)	Custos SGRU Descentralizado (R\$.domicílio ⁻¹ .mês ⁻¹)
Cenário Pessimista (<i>CP</i>)		
Campos Belos	15,14	15,07
Monte Alegre de Goiás	14,42	14,14
Cenário Moderado (<i>CMd</i>)		
Campos Belos	15,20	15,13
Monte Alegre de Goiás	14,51	14,20
Cenário Otimista (<i>CO</i>)		
Campos Belos	15,33	15,25
Monte Alegre de Goiás	14,66	14,32

Independentemente do SGRU e do cenário adotado, os valores mensais apresentados na Tabela 11-10 são similares aos valores médios das tarifas de gestão de resíduos em Portugal, que em 2013 era de 2,69 EUR por agregado familiar (Ferreira & Marques, 2015). Esta tarifa, convertida para Real e extrapolado para 2020, equivale a um valor médio de R\$ 13,23 domicílio⁻¹.mês⁻¹. É de notar que em Portugal o número de habitantes por agregado familiar é de 2,6 hab·domicílio⁻¹, enquanto que em Campos Belos há 3,5 hab·domicílio⁻¹ e em Monte Alegre de Goiás são 3,6 hab·domicílio⁻¹ (IBGE, 2010b; PORDATA, 2017). Isso representa um custo de R\$.5,09 habitante⁻¹.mês⁻¹ (pago pelos portugueses), enquanto que mesmo nos *CO*, com SGRU centralizados (que são os mais onerosos para os cidadãos), os valores pagos pelos moradores de Campos Belos e Monte Alegre de Goiás serão, respetivamente, de R\$ 4,38 habitante⁻¹.mês⁻¹ e R\$.4,07 habitante⁻¹.mês⁻¹. Isso representa que cada habitante de Campos Belos, por exemplo, pagará um valor 14% inferior ao custo médio pago pelo cidadão português. Fez-se este paralelismo com Portugal porque até meados dos anos 2000 havia 341 lixeiras e apenas 25% da população era servida com uma deposição final adequada dos seus RU no país (Dias, Carvalho, & Limons, 2013).

11.3.4. Comparativo das emissões dos GEE na recolha e transporte de materiais recicláveis

Utilizando-se o *software ArcGIS* e os *shapefiles* de SIEG (2015), verificou-se que o município de Campos Belos possui uma extensão total das ruas de 110,8 km, enquanto que em Monte Alegre são 27,8 km de malha viária. Como o intuito deste estudo é uma recolha diferenciada que atenda toda a população dos dois municípios, considerou-se que estas serão as distâncias totais percorridas na recolha de materiais recicláveis. Sendo que estas distâncias serão as mesmas para os dois SGRU propostos.

Já para o transporte dos resíduos recicláveis, os deslocamentos irão variar de acordo com as distâncias médias de transporte do centro urbano produtor de RU de cada município até as centrais de triagem. Estas distâncias serão multiplicadas por dois, pois o veículo de recolha vai até a triagem e depois retorna ao município para prosseguir com a recolha. Para o SGRU centralizado (com uma central de triagem) obteve-se as distâncias de transporte de 13,8 km do centro urbano de Campos Belos até a triagem, e de 22,7 km do centro urbano de Monte Alegre de Goiás até a triagem. Já para o SGRU descentralizado as distâncias a percorrer no transporte de recicláveis serão menores, pois cada município possuirá a sua central de triagem. As distâncias entre os centros urbanos e os locais propostos para se situarem as centrais de triagem serão de 3,2 km para Campos Belos e de 1,7 km para Monte Alegre de Goiás. Estas distâncias também foram calculadas no *ArcGIS*.

Com as distâncias percorridas pelos veículos de recolha e os consumos de combustível destes veículos (3,17 km/L_{diesel} - MMA, 2011), calculou-se o combustível consumido por cada viagem realizada pelo veículo de recolha de resíduos recicláveis e, consequentemente, as emissões de CO₂, CH₄, N₂O e CO_{2eq}. Os resultados apresentados na Tabela 11-11 mostram que em cada viagem que o veículo de recolha de materiais recicláveis de Campos Belos realiza, as emissões dos GEE são 18% maiores no SGRU centralizado do que no SGRU descentralizado. Esta situação é ainda mais crítica em Monte Alegre de Goiás, em que as emissões dos GEE são 135% mais elevadas no SGRU centralizado do que no SGRU descentralizado.

Tabela 11-11: Estimativa das emissões dos GEE pelos veículos da recolha diferenciada de materiais recicláveis de Campos Belos e Monte Alegre de Goiás em uma viagem.

Sistema de gestão de resíduos urbanos	Distância percorrida pelo veículo de recolha em cada viagem (km)	Combustível consumido (L)	Emissão CO ₂ (kg)	Emissão CH ₄ (kg)	Emissão N ₂ O (kg)	Emissão CO ₂ eq (t)
Centralizado						
Campos Belos	138,4	43,7	114,3	0,004	0,006	0,116
Monte Alegre de Goiás	73,2	23,1	60,4	0,002	0,003	0,061
Descentralizado						
Campos Belos	117,2	37,0	96,8	0,004	0,005	0,098
Monte Alegre de Goiás	31,2	9,8	25,8	0,001	0,001	0,026

De acordo com as avaliações realizadas neste estudo, pode-se apontar que mesmo os municípios que possuam SGRU partilhados, devem priorizar pelo tratamento dos RU na fonte (como é o caso da compostagem doméstica) ou em local o mais próximo possível de onde está o centro produtor destes resíduos (como, por exemplo, uma central de triagem de materiais recicláveis instalada no próprio município). Deixando para tratar de forma partilhada apenas os refugos dos sistemas de tratamento de RU locais e os resíduos recolhidos de forma indiferenciada.

11.4. Considerações finais

Este estudo apresentou uma análise económica dos custos de investimento e operação de um SGRU partilhado entre dois municípios de pequeno porte, realidade de 224 dos 246 municípios do Estado de Goiás. Fica clara a importância de uma avaliação desta natureza em Goiás, já que menos de 5% dos municípios com baixa densidade populacional possuem aterro licenciado e/ou central de triagem.

De modo que a identificação das áreas livres para a instalação de sistemas de gestão de RU, aliada à metodologia da geometria das massas, possibilitou que se apontasse uma área não restrita para se construir um aterro que esteja o mais próximo possível dos centros geradores de resíduos dos dois municípios que irão partilhar este SGRU. Esta análise deve ser feita em estudos futuros, pois conforme se observou nos resultados, 59% da área total dos municípios de Campos Belos e de Monte Alegre de Goiás é restrita para a instalação de aterros.

Para além, o facto dos resultados apontarem que um sistema de gestão descentralizado é mais económico que um sistema centralizado, é um elemento norteador para os municípios goianos de pequeno porte. De modo que, de acordo com os resultados

obtidos neste estudo, a gestão dos resíduos desviados (biorresíduos e materiais recicláveis) deve ser feita pelos próprios municípios, partilhando-se o aterro. Este formato de gestão dos RU reforçaria o comprometimento dos moradores dos municípios, e possibilitaria uma fonte de rendimento e emprego para a população local, como é o caso dos *catadores* de materiais recicláveis. Destaca-se também que os custos mensais que cada habitante pagará por ter um SGRU no seu município são mais baixos, por exemplo, do que os praticados pelos sistemas de gestão de Portugal, país que até 1997 apresentava um cenário de gestão de resíduos parecido com o de Goiás em 2018, sem um serviço de recolha que cobrisse toda a população e que encaminhava a maior parte de seus RU para lixeiras.

Outro ponto importante foi a avaliação das emissões dos GEE pelos veículos da recolha de recicláveis, que apontam que o SGRU descentralizado, por possuir tecnologias de tratamento de RU mais próximos ao centro gerador, é também mais vantajoso em termos ambientais. Ressalta-se ainda que a compostagem doméstica, em que o resíduo é tratado no próprio local onde foi gerado (ou seja, nos domicílios) também trará benefícios em termos de emissões dos GEE, pois parte dos biorresíduos não será transportada para o aterro do SGRU proposto.

Referente à escolha da compostagem doméstica em detrimento da compostagem comunitária, por exemplo, se deu pelo facto das características dos municípios avaliados, donde a população reside maioritariamente em casas, ou seja, com espaço para fazer a compostagem doméstica, assim como para aplicar o composto produzido. De qualquer maneira, os SGRU que englobem municípios de pequeno porte também podem considerar como alternativa a compostagem comunitária.

Por fim, vale acrescentar que este estudo económico de um SGRU partilhado entre municípios de pequeno porte populacional, pode ser replicado por outros municípios com características semelhantes que tenham uma gestão ineficiente dos seus RU.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Brasil. O 1º autor, Diogo Appel Colvero, é investigador do CNPq, Processo n.º 207172/2014-5.

Referências bibliográficas

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997). NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro.
- Abreu, A. E. S., Gandolfo, O. C. B., & Vilar, O. M. (2016). Characterizing a Brazilian sanitary landfill using geophysical seismic techniques. *Waste Management*, 53, 116–127. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.048>
- Andrade, R. M. de, & Ferreira, J. A. (2011). A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da globalização. *REDE – Revista Eletrônica do Prodem*, 6(1), 7–22. Retrieved from <http://www.revistarede.ufc.br/revista/index.php/rede/article/viewArticle/118>
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente. (2015). Relatório anual de resíduos urbanos 2015 - fichas individuais por SGRU. Retrieved from https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/RARU2015_Fichas_SGRU_v2.pdf
- Araújo, F. T. V., & Nunes, A. B. A. (2013). A política nacional de resíduos sólidos, a meta de eliminação dos lixões e os desdobramentos nos estados brasileiros. In XXVII *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES.
- Arrais, T. P. A. (2002). Goiás: novas regiões, ou novas formas de olhar velhas regiões. In M. G. Almeida (Ed.), *Abordagens geográficas de Goiás: o natural e o social na contemporaneidade* (pp. 1–25). Goiânia: UFG.
- BCB – Banco Central do Brasil. (2017). Conversão de moedas. Retrieved from <http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/conversao.asp>
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2014). *Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão*. Jaboatão dos Guararapes, PE.
- Brasil. Instrução Normativa SRF n.º 162, de 31 de dezembro. (1998). Fixa o prazo de vida útil e taxa de depreciação dos bens que relaciona. Retrieved from <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?visao=anotado&idAto=15004>
- Brasil. Lei n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007. (2007). Brasília, DF: Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei n.º 6.528, de 11 de maio de 1978. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm
- Brasil. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. (2010). Brasília, DF: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm
- Brasil. Lei n.º 12.725, de 16 de outubro. (2012). Brasília, DF, Brasil: Dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12725.htm

- Bridi, E. (2008). Resíduos sólidos urbanos - uma proposta para otimização dos serviços de coleta e da disposição final (Master's Thesis). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Retrieved from <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/14739>
- Bruun, S., Hansen, T. L., Christensen, T. H., Magid, J., & Jensen, L. S. (2006). Application of processed organic municipal solid waste on agricultural land - A scenario analysis. *Environmental Modeling and Assessment*, 11(3), 251–265. <http://doi.org/10.1007/s10666-005-9028-0>
- Carvalho, J., Matos, M. A., & Gomes, P. (2011). Anexo 5: Custos de Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos. FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia - projecto FCOMP-01/0124/FEDER/007040 Aveiro: Universidade de Aveiro. Retrieved from http://www.ua.pt/ii/ocupacao_dispersa
- Chen, Y.-C., & Lo, S.-L. (2016). Evaluation of greenhouse gas emissions for several municipal solid waste management strategies. *Journal of Cleaner Production*, 113, 606–612. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.058>
- Colvero, D. A., Carvalho, E. H. de, Pfeiffer, S. C., & Gomes, A. P. (2017). Avaliação da geração de resíduos sólidos urbanos no Estado de Goiás, Brasil: análise estatística de dados. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – RESA*, 22(51), 931–941. <http://doi.org/10.1590/S1413-41522017159448>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., & Pfeiffer, S. C. (2015). Análise dos custos das rotas tecnológicas dos resíduos sólidos urbanos de Cidade Ocidental, Goiás. *Sodebrás*, 10(117), 196–204. Retrieved from <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N117.pdf>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. (2017). Municipal solid waste in Goiás (Brazil): current scenario and projections for the future. *Journal of Sedimentary Environments*, 2(3), 236–249. <http://doi.org/10.12957/jse.2017.31131>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., Matos, M. A. A. de, & Santos, K. A. dos. (2018). Use of a geographic information system to find areas for locating of municipal solid waste management facilities. *Waste Management*, (77), 500–515. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.036>
- Colvero, D. A., Pfeiffer, S. C., & Carvalho, E. H. de. (2016). Materiais recicláveis provindos dos resíduos urbanos: caso de estudo para o estado de Goiás, Brasil. In P. J. Ramísio, G. A. Lopes, L. M. C. Pinto, F. Leite, & M. J. Rosa (Eds.), *A Engenharia Sanitária nas Cidades do Futuro: Livro de Comunicações do 17.o Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental/ENASB* (pp. 713–720). Lisboa.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2010) Resolução CONAMA no 428/2010, de 17 de dezembro. Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC). Retrieved from <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=641>
- Dias, N., Carvalho, M. T., & Limons, R. (2013). Challenges in the deactivation of more than 2000 open dumping sites in Brazil. In Sardinia 2013, Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium. Cagliary, Italy: CISA.
- EC – European Commission. (2000). Exemplos de compostagem e de recolhas selectivas bem sucedidas. Bruxelles.

- EC – European Commission. (2008). *European Parliament and Council. Directive 2008/98/EC of 22 november 2008 on waste and repealing certain Directives*. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=PT>
- EC – European Commission. (2011). Roadmap to a Resource Efficient Europe. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52011DC0571>
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2006). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2ª). Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI. Retrieved from <https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>
- EU – European Union. (2018). *European Parliament and of the Council. Directive 2018/851/EC of 30 may 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste*. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=PT>
- FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente, & Engebio Engenharia S/S Ltda. (2010). Estudo do estado da arte e análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica no estado de Minas Gerais - Relatório 1. Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Ferreira, S., & Marques, R. C. (2015). Contingent valuation method applied to waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 99(August 2016), 111–117. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.02.013>
- Ferreira, W. A. de A., & Ferreira, N. C. (2014). Seleção Preliminar de áreas para instalação de aterros sanitários na região metropolitana de Goiânia. In *Anais Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas*. Poços de Caldas/MG. Retrieved from <http://meioambientepocos.com.br/portal/anais/2014/index.php>
- FGV/EAESP – Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getulio Vargas. (2011). O Programa Brasileiro GHG Protocol. São Paulo/SP.
- Figueiredo, F. F. (2012). O desenvolvimento da indústria da reciclagem dos materiais no Brasil: Motivação econômica ou benefício ambiental conseguido com a atividade? *Revista Electrónica de Geografía Y Ciencias Sociales*, 16(387). Retrieved from <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-387.htm>
- FIPE – Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. (2017). Índices e indicadores – preços médios de veículos. Retrieved from <http://veiculos.fipec.org.br/>
- Garcia, M. B. dos S., Lanzellotti Neto, J., Mendes, J. G., Xerfan, F. M. de F., Vasconcellos, C. A. B. de, & Friede, R. R. (2015). Resíduos sólidos: responsabilidade compartilhada. *Semioses*, 9(2), 77–91. <https://doi.org/10.15202/1981996X.2015v9n2p77>
- Gbanie, S. P., Tengbe, P. B., Momoh, J. S., Medo, J., & Kabba, V. T. S. (2013). Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria

- Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. *Applied Geography*, 36, 3–12. <http://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.06.013>
- Gentil, E., Christensen, T. H., & Aoustin, E. (2009). Greenhouse gas accounting and waste management. *Waste Management & Research*, 27 (8) (2009), pp. 696-706.
- Godecke, M. V., Naime, R. H., & Figueiredo, J. A. S. (2012). O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil. *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 8(8), 1700–1712. <http://doi.org/10.5902/223611706380>
- Gorsevski, P. V., Donevska, K. R., Mitrovski, C. D., & Frizado, J. P. (2012). Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average. *Waste Management*, 32(2), 287–296. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.023>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010a). Sinopse do Censo Demográfico 2010 – Goiás. Retrieved June 26, 2017, from <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=52&dados=0>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010b). Total domicílios Goiás. Retrieved from https://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_do_micilios_goiias.pdf
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2016). Cidades@Goiás. Retrieved May 4, 2016, from <http://cod.ibge.gov.br/1V4>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017). Indicadores IBGE - Sistema Nacional de Índices de Preços ao Consumidor IPCA e INPC. Setembro/2017. Retrieved from ftp://ftp.ibge.gov.br/Precos_Indices_de_Precos_ao_Consumidor/IPCA/Fasciculo_Indicadores_IBGE/ipca-inpc_201709caderno.pdf
- IMB – Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. (2014a). Estatísticas das Meso e Microrregiões do Estado de Goiás – 2013. Goiânia/GO.
- IMB – Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. (2014b). Regiões de planejamento 2013 – Estado de Goiás. Retrieved May 23, 2017, from <http://www.imb.go.gov.br/down/regplan2013.pdf>
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy, Chapter 3 – Mobile Combustion. Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf
- Larsen, A. W., Vrgoc, M., Christensen, T. H., & Lieberknecht, P. (2009). Diesel consumption in waste collection and transport and its environmental significance. *Waste Management & Research*, 27(7), 652–659. <http://doi.org/10.1177/0734242X08097636>
- Lima, J. D. de. (2015). Elementos de matemática financeira - demonstrações, implementações e aplicações (Master's Thesis). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, Brasil.

- Lopes, L. H. S., & Ferro, V. C. C. (2016). Limpeza Urbana. *Revista do Tribunal de Contas Do Estado de Minas Gerais – R. TCEMG*, 34(1), 133–144. Retrieved from <https://libano.tce.mg.gov.br/seer/index.php/TCEMG/article/viewFile/182/149>
- Machado, S. L., Carvalho, M. F., Gourc, J.-P., Vilar, O.M., & Nascimento, J. C. F. (2009). Methane generation in tropical landfills: simplified methods and field results. *Waste Management*, 29 (2009), pp. 153-161.
- Malheiros, R., Campos, A. C., Oliveira, D. G. de, & Souza, H. A. de. (2014). Utilização de resíduos orgânicos por meio da compostagem como metodologia de ensino de gestão e educação ambiental. In V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental (pp. 1–7). Belo Horizonte/MG: IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Retrieved from <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2014/VII-028.pdf>
- Manfio, V., & Benaduce, G.M.C. (2011). A (re)estruturação urbana e o desenvolvimento local da pequena cidade de Nova Palma/RS. *Rev. Geogr. Meio Ambient. e Ensino* 2, 71–82.
- Matos, M. A., Gomes, A. P., Tarelho, L. A., Nunes, M. I., Teixeira, C. A., & Fonseca, A. S. (2012). Urban waste management recyclables model based on carbon footprint, in: 1st International AFRICA Sustainable Waste Management Conference. Lobito, Angola, pp. 1–10.
- Matos, V. N., Santos, J. O., Marinho, M. M. de O., & Andrade, J. C. S. (2017). Quantificação de emissões de gases de efeito estufa no transporte de resíduos: estudo de caso da UFBA. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*, v. 5, n.1, 53-65. ISSN: 2317-563X.
- Ministério do Ambiente. Decreto-Lei no 73/2011, de 17 de junho (2011). Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Retrieved from https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/DL_73_2011_DQR.pdf
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2011). 1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários: Relatório Final. Brasília/DF. Retrieved from http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2012a). Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PLANARES. Brasília/DF. Retrieved from http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2012b). Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação. Apoiando a implementação da política nacional de resíduos sólidos: do nacional ao local. Brasília, DF. Retrieved from http://www.mma.gov.br/estruturas/182/_arquivos/manual_de_residuos_solidos3003_182.pdf
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Portaria Interministerial no 60, de 24 de março (2015). Estabelece procedimentos administrativos em processos de licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Retrieved from

- http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/Portaria_Interministerial_60_de_24_de_marco_de_2015.pdf
- Nascimento, J. C. F. do. (2007). *Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos*. Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.18.2007.tde-10082007-132150>
- NURSOL/UFG – Núcleo de Resíduos Sólidos e Líquidos da Universidade Federal de Goiás. (2015). Plano de resíduos sólidos do estado de Goiás - Produto final (Produto 10). Goiânia/GO.
- Pascoal Júnior, A., & Oliveira Filho, P. C. de. (2010). Análise de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares com uso de geoprocessamento. *Revista Acadêmica Ciências Agrárias E Ambientais*, 8(2), 131–144. Retrieved from <https://periodicos.pucpr.br/index.php/cienciaanimal/article/view/10808>
- Pereira, C. D., Franco, D., & Castilhos Júnior, A. B. de. (2013). Implantação de Estação de Transferência de Resíduos Sólidos Urbanos utilizando Tecnologia SIG. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 27(Março), 71–84. Retrieved from <https://www.yumpu.com/pt/document/fullscreen/51943509/edicao-27-marco-13-rbciamb>
- Pinheiro, R. V. N., Ribeiro, R. G. M., & Melo, D. A. de. (2012). Evolução do programa de coleta seletiva de Goiânia: uma análise dos resultados de 2008 a 2011. In III *Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental* (pp. 1–6). Goiânia: BEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Retrieved from <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/III-008.pdf>
- PORDATA. (2017). Base de Dados Portugal Contemporâneo - Número médio de pessoas residentes nos alojamentos familiares clássicos de residência habitual segundo os Censos. Retrieved from <https://www.pordata.pt/Municipios/Número+médio+de+pessoas+residentes+nos+alojamentos+familiares+clássicos+de+residência+habitual+segundo+os+Censos-590>
- PMTM – Prefeitura Municipal de Três de Maio. (2015). Anexo VII – Planilha de custos para licitação. Três de Maio/RS. Retrieved from http://www.pmtresdemaio.com.br/Arquivos/240/Licitacoes/5794/Anexo VII - Planilha de Custos_281M.pdf
- ReCESA – Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. (2009). Otimização de rotas para veículos coletores: nível 2. (E. H. Pfeiffer, S. C; Carvalho, Ed.).
- Reichert, G. A. (2013). Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre (Doctoral dissertation). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Romero, V., Marcuzzo, F. F. N., & Cardoso, M. R. D. (2014). Tendência do número de dias de chuva no Estado do Tocantins e a relação dos seus extremos com o índice oceânico Niño. *Boletim de Geografia*, 32(1), 1. <http://doi.org/10.4025/bolgeogr.v32i1.18235>

- Russo, M. A. T. (2003). Tratamento de resíduos sólidos. Universidade de Coimbra. Retrieved from http://www1.ci.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/Tratamentos_Residuos_Solidos.pdf
- SECIMA/GO – Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. (2015). Nota técnica – aterros sanitários. Goiânia/GO, Brasil.
- SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás. (2013). Questionário acerca do sistema de gestão e disposição final do lixo urbano nos municípios goianos. Goiânia.
- SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás. Resolução n.º 005/2014 – CEMAm, de 26 de fevereiro. (2014). Goiânia/GO: Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental dos projetos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, na modalidade aterro sanitário, nos municípios do Estado de Goiás.
- SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. (2015). SIG – Shapefiles. Retrieved from <http://www2.sieg.go.gov.br/post/ver/171319>
- SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. (2017). SIEG Mapas. SEGPLAN. 2017. Retrieved from <http://www.sieg.go.gov.br/siegmapas/mapa.html>
- NSNA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. (2016). Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2014. Brasília, DF, Brasil. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- TCM/GO – Tribunal de Contas dos Municípios do Estado de Goiás. (2016). Resolução Administrativa RA no 099/2016. Goiânia/GO: Aprova Manual de orientações para análise de serviços de limpeza urbana. Retrieved from <http://www.tcm.go.gov.br/explorer/repositorio/comunicacao/1467289445385.pdf>
- Tsilemou, K., & Panagiotakopoulos, D. (2006). Approximate cost functions for solid waste treatment facilities. *Waste Management & Research*, 24(4), 310–322. <http://doi.org/10.1177/0734242X06066343>
- Ursolino, D. M. A., Moreno, M. M. T., & Nogueira, S. L. (2015). Caracterização física dos neossolos, após uso de composto orgânico - Sobral/CE. *Revista de Geologia*, 28(2), 65–77.
- US EPA – United States Environmental Protection Agency. (2002). *Waste Transfer Stations: a manual for decision-making*. Washington. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/r02002.pdf>
- Vázquez, M. A., & Soto, M. (2017). The efficiency of home composting programmes and compost quality. *Waste Management*, 64, 39-50. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.022>

12. Análise económica de um sistema partilhado de gestão de resíduos urbanos para uma região metropolitana

Resumo: A gestão dos resíduos urbanos (RU) em áreas com densidade populacional elevada é um desafio para os municípios. Situação que é agravada nos países em desenvolvimento, em que os municípios em geral possuem uma deficitária gestão destes resíduos. Um exemplo é a região Metropolitana do Estado de Goiás, Brasil, que possui 19 municípios que depositam cerca de 72,5% do total de RU produzido em sistemas de deposição final de RU não licenciados. Desse modo, o objetivo deste estudo foi fazer uma análise económica das receitas e dos custos de investimento e de operação de um sistema de gestão de resíduos urbanos (SGRU) partilhado entre 19 municípios situados junto à capital do Estado de Goiás. Neste SGRU, que foi projetado para 20 anos, pretende-se descentralizar a nível municipal as operações de triagem e tratamentos biológicos e centralizar as operações de incineração e aterro. Para os municípios com maior porte populacional, os custos do tratamento dos biorresíduos foram comparados entre duas tecnologias: compostagem comunitária (CC) e digestão anaeróbia (DA). Os resultados apontaram que, independentemente do SGRU, o que mais onera os custos de operação na gestão dos RU é a recolha e o transporte, que representam cerca de 60%. Sendo que, para uma taxa interna de rendibilidade (TIR) de 0%, o custo total do SGRU com DA é até 11% mais caro que um SGRU com CC. Para 2040, último ano da vida útil do projeto, as tarifas mensais irão variar entre R\$ 3,5 habitante⁻¹.mês⁻¹ e R\$ 10,8 habitante⁻¹.mês⁻¹, dependendo do município avaliado.

Palavras-chave: Análise económica; resíduos urbanos (RU); gestão partilhada; tarifa de gestão dos RU; Estado de Goiás; Brasil.

12.1. Introdução

A população mundial deve estar atenta ao aumento da produção de resíduos urbanos (RU), pois se não forem tratados de forma adequada, podem trazer graves danos ambientais (Lavee & Nardiya, 2013). Em especial, nos países em desenvolvimento com grandes quantitativos populacionais, locais em que os municípios possuem áreas urbanas densas, crescimento da geração *per capita* de RU e deficitária gestão destes resíduos (Abramovay, Speranza, & Petitgand, 2013; Bernstad Saraiva, Souza, & Valle, 2017).

Esta situação ocorre em 19 municípios situados no Estado de Goiás, Brasil. Em 2015, estes municípios produziram mais de 2,1 mil toneladas·dia⁻¹ de RU, quantitativo

gerado por uma população de cerca de 2,3 milhões de habitantes distribuídos em quase 6,4 mil km², o equivalente a uma densidade populacional de 363,7 habitantes·km⁻² (Colvero, Gomes, Tarelho, & Matos, 2017b; IBGE, 2016; SIEG, 2015).

Estima-se que 99,1% dos RU produzidos nestes 19 municípios sejam recolhidos (Colvero et al., 2017b; IMB, 2014). Entretanto, embora nos municípios com maior densidade populacional (como Aparecida de Goiânia e Goiânia) o serviço de recolha dos RU sirva praticamente toda a população, nos municípios com menor densidade populacional (como Caldazinha e Professor Jamil) o serviço de recolha cobre menos de 73% dos RU produzidos (IMB, 2014). Além disso, apenas oito desses 19 municípios possuem recolha diferenciada dos materiais recicláveis (que tem um alcance de 2,8% do total de RU produzidos nos municípios) e não há recolha diferenciada de biorresíduos nesses municípios. De acordo com EU (2018), biorresíduos são os resíduos biodegradáveis provenientes de parques e jardins, assim como os resíduos alimentares dos domicílios, restaurantes, escritórios, escolas.

A consequência do baixo alcance das recolhas diferenciadas, são RU misturados a serem depositados em lixeiras ou aterros – maioritariamente sem licença para operação (Abreu, Gandolfo, & Vilar, 2016; Figueiredo, 2012). Ao todo, 97,2% dos RU produzidos nesses municípios são enviados para a deposição final, sendo 72,5% para lixeiras ou aterros não licenciados e 24,7% para aterros licenciados pela Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos do Estado de Goiás – SECIMA/GO (Colvero et al., 2017b). Este panorama dos RU é similar ao que ocorre no resto do Brasil, onde o aterro é praticamente a única tecnologia utilizada na gestão dos RU (Alfaia, Costa, & Campos, 2017). Outros 2,0% tem como destino a reciclagem e os demais 0,8% não são recolhidos (Tabela F.1-1 do Anexo F.1). Destaca-se ainda que estes municípios não possuem nenhuma tecnologia de tratamento dos RU com valorização energética, como digestão anaeróbia (DA) ou incineração.

Estas incipientes práticas dos municípios de Goiás em uma gestão dos RU que se baseia na prevenção e na economia circular (Colvero et al., 2017b), acaba por contrariar a Lei n.º 12305/2010 (conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS), que determinou que até agosto de 2014 todos municípios brasileiros deveriam encerrar os inadequados sistemas de deposição final de RU (Brasil, 2010).

Assim, o objetivo deste estudo foi analisar as receitas e os custos com investimento e operação de um sistema de gestão de resíduos urbanos (SGRU) partilhado entre 19 municípios situados junto à capital do Estado de Goiás. Este trabalho visa auxiliar os gestores públicos desses municípios e do Estado de Goiás na tomada de decisões acerca de um plano estratégico que possibilite alterar o atual cenário da gestão dos RU.

12.2. *Materiais e métodos*

12.2.1. Área de estudo

O SGRU partilhado proposto atenderá 19 municípios localizados junto ao município de Goiânia, capital do Estado de Goiás, Centro-Oeste do Brasil (Romero, Marcuzzo, & Cardoso, 2014). Em 2015, estes municípios, com grande heterogeneidade na densidade populacional (Tabela F.1-2 do Anexo F.1) e na produção de RU, possuíam 35% da população total e produziam 43,5% dos RU de Goiás (Colvero et al., 2017b; IBGE, 2016). De acordo com o quantitativo populacional dos municípios goianos (IBGE, 2016) e das faixas populacionais da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA (2016), em 2015, 14 destes 19 municípios estavam na faixa populacional de *até 30 mil habitantes*, um possuía entre *30 mil e 100 mil habitantes* e os outros quatro tinham população *superior a 100 mil habitantes*. Entre os municípios com maior população, destaca-se Goiânia, que nesse ano possuía mais de 1,4 milhão de habitantes.

12.2.2. Modelo de gestão e o município-sede do SGRU partilhado proposto

A partir do quantitativo populacional e da produção de RU (Tabela F.1-1 do Anexo F.1), definiu-se que o SGRU proposto será composto por um arranjo institucional baseado no estabelecido por BNDES (2014): recolha indiferenciada de RU, recolha diferenciada de materiais recicláveis secos, recolha diferenciada de biorresíduos, estação de transferência (ET), transporte, central de triagem, compostagem doméstica (CD), compostagem comunitária (CC) ou DA e um sistema de incineração com o apoio de um aterro de resíduos inertes (para receber as cinzas inertizadas e escórias da incineração), conforme apresentado na Figura 12-1.

Este modelo de sistema visa atender a PNRS, que define que os SGRU devem estabelecer fluxos que primem pela hierarquia das operações de gestão dos resíduos (Brasil, 2010). Malinauskaite et al. (2017) complementam ao afirmar que os países devem abandonar os obsoletos sistemas de eliminação dos RU e buscar alternativas de gestão que

estejam focadas na abordagem da economia circular dos resíduos, isto é, que os recursos sejam mantidos na economia o maior tempo possível (Merli, Preziosi, & Acampora, 2018).

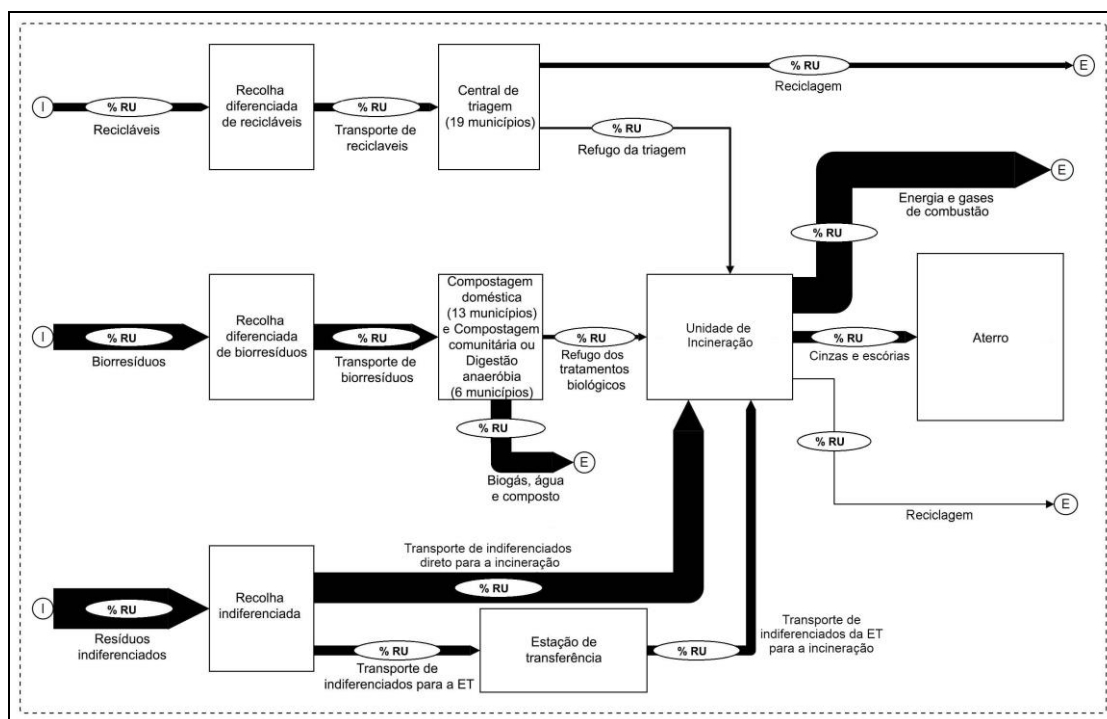


Figura 12-1: Arranjo institucional do modelo de gestão de RU proposto para os 19 municípios situados junto à capital do Estado de Goiás.

Para o tratamento dos biorresíduos foram definidas três alternativas de gestão para os municípios (estabelecidas a partir da capacidade mínima de RU que podem ser tratadas por cada tecnologia, conforme Tsilemou & Panagiotakopoulos (2006)):

- CD: abrange 13 dos 19 municípios (Tabela F.1-3 do Anexo F.1), que entre 2021 e 2040 irão tratar até 2 000 t·ano⁻¹ de biorresíduos;
- CC ou DA: para os restantes seis municípios (Tabela F.1-3 do Anexo F.1) que irão tratar, entre 2021 e 2040, mais de 2 000 t·ano⁻¹ de biorresíduos. A análise realizada neste estudo apontou qual destas duas tecnologias (CC ou DA) é mais económica para os municípios que as tiverem.

Conforme estabelecido por Matos et al. (2012), no presente estudo os tratamentos com vista à recuperação dos RU (triagem de recicláveis, compostagem e DA de biorresíduos) serão descentralizados ao nível dos municípios, estando centralizadas apenas as operações de incineração e aterro, que receberão os refugos dos tratamentos dos RU e os resíduos indiferenciados. As operações que contemplarão a rota tecnológica dos RU para

cada um municípios avaliados estão apresentadas na Tabela F.1-3 do Anexo F.1. Diz-se rota tecnológica toda a cadeia produtiva dos RU, desde a produção, passando pela recolha e transporte, as distintas formas de tratamento e, por último, a deposição final destes resíduos (BNDES, 2012).

Para os sistemas de tratamento de RU locais (triagem, compostagem ou DA) estabeleceu-se que os próprios municípios definirão quais são as áreas mais adequadas para a instalação destas infraestruturas. Sendo que, neste estudo, foram definidos os possíveis locais de instalação dos sistemas que envolvem as operações centralizadas (ET, incineração e aterro). O objetivo de identificar a localização destas infraestruturas centralizadas foi garantir o Princípio da Autossuficiência e Proximidade, enunciados na Diretiva 2008/98/EC (EC, 2008), que visa minimizar os custos com o transporte dos RU. Para isso, a incineração e o aterro devem estar localizados o mais próximo possível do centro gerador de resíduos.

Assim, utilizando-se a metodologia da geometria das massas (Pereira, Franco, & Castilhos Júnior, 2013; Russo, 2003), primeiramente definiu-se o município-sede (MS) da incineração do SGRU proposto. Nesta metodologia, a partir dos quantitativos de RU produzidos e das coordenadas geográficas dos centros urbanos – obtidos a partir dos *shapefiles* de SIEG (2015) – dos municípios que integram o SGRU proposto, chegou-se ao centro de massa (CM) que, assegura os menores deslocamentos com os RU e, consequentemente, os menores gastos com o transporte destes resíduos.

Conforme estudos de Pereira et al. (2013) e Russo (2003), o CM dos 19 municípios do SGRU proposto foi obtido utilizando-se as Equações 12-1 e 12-2.

$$y = \frac{\sum (y_i \cdot P_i)}{\sum P_i} \text{ (Equação 12-1)}$$

$$x = \frac{\sum (x_i \cdot P_i)}{\sum P_i} \text{ (Equação 12-2)}$$

Em que:

x – longitude; y – latitude; x_i e y_i – coordenadas geográficas dos centros urbanos, em coordenadas UTM; P_i – produção média diária de RU de cada município, em t·dia⁻¹. Os valores de x e y são as coordenadas geográficas onde se situa o CM.

Estabeleceu-se que as distâncias entre a incineração e os centros urbanos dos municípios não sede não devem exceder 25 km (Chen & Lo, 2016; FEAM & Engebio,

2010). Este é o chamado ponto de viragem, a partir do qual se torna vantajoso economicamente ter uma ET ao invés de transportar os RU diretamente para a incineração (US EPA, 2002). As ET deverão distanciar, no máximo, 25 km do centro urbano de cada município e 100 km da incineração (FEAM & Engebio, 2010).

12.2.3. Identificação das áreas livres ou restritas para a instalação de aterros

Segundo Gbanie, Tengbe, Momoh, Medo, & Kabba (2013), em quaisquer SGRU os aterros são indispensáveis para a deposição final ambientalmente adequada dos refugos e dos resíduos indiferenciados não desviados, sendo que estes sistemas devem estar instalados em áreas apropriadas para a deposição final dos RU (Cherubini, Bargigli, & Ulgiati, 2009).

Para isso, de acordo os estudos de Ferreira & Ferreira (2014), Gbanie et al. (2013) e Gorsevski, Donevska, Mitrovski, & Frizado (2012), foi feita a identificação de uma área não restrita para a instalação de um aterro para receber os refugos da incineração. Utilizou-se o software *ArcGIS*, versão 10.3.1, uma ferramenta de sistema de informação geográfica (SIG). A definição de uma possível área para o aterro do SGRU proposto foi obtida utilizando-se cinco documentos legais do Brasil elaborados por ABNT (1997), Brasil (2012), CONAMA (2010), MMA (2015) e SEMARH/GO (2014) – apresentados na Tabela F.1-4 do Anexo F.1 – que instituem parâmetros ambientais e geográficos que estabelecem critérios como as distâncias mínimas dos aterros para: os aeródromos, os cursos de água, as comunidades remanescentes e as áreas de proteção ambiental e, também, uso e ocupação do solo e declividade do terreno.

12.2.4. As metas de desvios de RU dos aterro e os cenários propostos

Os municípios de Goiás têm de propor SGRU que cumpram com as metas de desvios de resíduos recicláveis e biorresíduos dos aterros, estabelecido no Plano Nacional de Resíduos Sólidos – PLANARES (MMA, 2012a), conforme apresentado na Tabela 12-1.

Tabela 12-1: Metas de desvio de resíduos urbanos dispostos em aterro no Estado de Goiás.

Meta	Plano de metas de desvios dos aterros				
	2015 (%)	2019 (%)	2023 (%)	2027 (%)	2031 (%)
Redução da percentagem de resíduos recicláveis secos depositados em aterro	13	15	18	21	25
Redução da percentagem de biorresíduos depositados em aterro	15	25	35	45	50

Fonte: Adaptado de MMA (2012a).

Estas metas de desvios de RU do aterro serão contempladas a partir da proposta de distintos cenários futuros. Reichert (2013) enfatiza que o estabelecimento de cenários possibilita a organização de prováveis situações para o futuro, permitindo assim que sejam visualizados os resultados de cada cenário definido.

Com base nas metas de desvios de RU determinadas no PLANARES foram definidos três cenários futuros, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA, 2012b). Os cenários devem ser projetados para um horizonte de 20 anos, sendo o período compreendido neste caso, entre 2020 (ano dos investimentos iniciais referentes à construção dos SGRU) e 2040 (fim da vida útil dos SGRU propostos).

As metas de desvios deverão ser atingidas entre 2021 (início de operação dos sistemas) e 2031 (ano da última meta do PLANARES). Entre 2031 e 2040 considerar-se-á que os sistemas alcançarão a estabilidade, sendo mantidas as percentagens de desvios de 2031. Os quantitativos de RU a desviar de aterro entre 2021 e 2040 foram obtidos a partir da estimativa da produção de RU nos 19 municípios avaliados conforme estudo de Colvero et al. (2017b).

Seguidamente, são descritos os três cenários futuros avaliados:

- Cenário pessimista (*CP*): atingir em 2023 e 2031 as metas de desvios de RU de aterro do PLANARES (MMA, 2012a) previstas para 2015 e 2027, respetivamente. No *CP* o objetivo é atingir parte das metas estabelecidas no PLANARES, considerando-se que, devido às dificuldades inerentes à implantação e operação de um novo SGRU, o crescimento linear de desvios de RU de aterro é mais lento. Comparado com a situação atual da gestão dos RU nos 19 municípios avaliados, atingir estas metas representará um grande avanço, mesmo sendo modestas em comparação aos desvios de RU obtidos nos países desenvolvidos (NURSOL/UFG, 2015).

- Cenário moderado (*CMd*): alcançar em 2023 as metas de desvio de RU de aterro estabelecidas no PLANARES (MMA, 2012a), previstas para 2019 e, em 2031, atingir um valor intermédio entre os de 2027 e 2031 (obtido a partir da média das metas de desvios destes dois anos). No *CMd* as metas de desvios idealizadas para 2023 e 2031 ainda não serão atingidas, contudo, haverá um maior crescimento linear em comparação ao *CP*. Com uma maior adesão da população às recolhas diferenciadas e um crescimento no desvio de resíduos recicláveis e biorresíduos, este cenário será uma hipótese imaginável.

- Cenário otimista (*CO*): atingir em 2023 e 2031 as próprias metas de desvios de RU de aterro previstas para estes mesmos anos no PLANARES (MMA, 2012a). No *CO* considerar-se-á que o SGRU proposto para os 19 municípios estará a operar em pleno, sendo atingidas as metas pretendidas.

Considerou-se que as metas de desvios de RU dos aterros serão alcançadas a partir dos materiais recicláveis encaminhados para reciclagem e dos biorresíduos separados na fonte e que serão valorizados na compostagem e/ou DA.

12.2.5. Caracterização e poder calorífico do RU no Estado de Goiás

Para calcular as metas de desvios foi necessário ter em conta a caracterização dos RU nos municípios goianos. Além disso, o SGRU proposto terá um sistema de incineração de RU que produzirá energia elétrica para ser comercializada. Para saber o quantitativo de energia que esta infraestrutura fornecerá anualmente, estimou-se o poder calorífico inferior (PCI) dos RU nos municípios do Estado de Goiás. Para chegar ao PCI, obteve-se a caracterização física mais detalhada possível dos RU.

De acordo com estudo de Colvero, Pfeiffer, & Carvalho (2016), os RU dos municípios goianos são compostos de 55,9% de biorresíduos, 31,9% de materiais recicláveis e 12,2% de outros resíduos. Obteve-se a caracterização média pormenorizada dos RU no Estado de Goiás a partir do estudo de Lima et al. (2018), que estabeleceram as frações dos RU para os municípios brasileiros. Além da caracterização na origem, obteve-se também a composição dos RU em cada fase do SGRU proposto, até ser encaminhada à incineração.

Como as metas de desvio para a deposição final de RU (d_j) são diferentes para cada ano do projeto e para cada cenário (Tabela 12-1), utilizaram-se as Equações 12-3 a 12-5 (Matos & Pereira, 2005) para calcular o PCI_{RF} dos RU que chegarão à incineração em cada ano e para os três cenários avaliados. Os valores de humidade (w_{Hj}) e o PCI_j (em MJ por kg do componente j seco) de cada componente (j) dos RU foram obtidos dos estudos de Seelig & Schneider (2012) e Tchobanoglous, Theisen, & Vigil (1993).

$$PCI_{sec} = \sum_j \left[PCI_j \frac{w_j (1 - d_j) (1 - w_{H_{jrest}})}{(1 - w_{H_{rest}}) \sum [w_j (1 - d_j)]} \right] \quad [\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ peso seco}] \text{ (Equação 12-3)}$$

$$PCI_{húm} = PCI_{sec} (1 - w_{H_{rest}}) \quad [\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ peso húmido}] \quad (\text{Equação 12-4})$$

$$PCI_{RF} = PCI_{húm} \cdot P_i \sum_j [w_j (1 - d_j)] \cdot 10^3 \quad [\text{MJ} \cdot \text{dia}^{-1}] \quad (\text{Equação 12-5})$$

Em que:

$d_j = f_{j_{sep}} \cdot \eta_{j_{sep}}$: meta de desvio do aterro de cada componente j do RU, [kg de j desviados por kg de j no RU];

$f_{j_{sep}}$: fração do componente j separado na fonte, [kg de j separado por kg j no RU];

$\eta_{j_{sep}}$: fração do componente j separado na fonte sem contaminantes, [kg de j separado descontaminado por kg totais de j separado];

w_{Hj} : fração de humidade no componente j do RU [kg de H_2O por kg de j do RU];

$w_{H_{j_{rest}}} = \left[w_{Hj} - w_{H_{j_{sep}}} \cdot d_j \right] / (1 - d_j)$: fração de humidade do componente j do RU restante, [kg de H_2O por kg de j do RU restante];

$w_{H_{j_{sep}}}$: fração de humidade no componente j separado na fonte, [kg de H_2O por kg de j separado na fonte];

$w_{H_{rest}} = \sum_j (w_{j_{rest}} \cdot w_{H_{j_{rest}}})$: fração de humidade no RU restante, [kg H_2O por kg de RU restante];

$w_{j_{rest}} = [w_j \cdot (1 - d_j)] / \sum_j w_j \cdot (1 - d_j)$: fração do componente j no RU restante, [kg de j por kg de RU restante];

w_j : fração do componente j no RU, [kg de resíduo por kg de RU];

P_i : produção média diária de RU [t de RU por dia].

12.2.6. Custos do SGRU proposto e análise da viabilidade económica

Os custos de investimento das infraestruturas de tratamento dos RU para os 19 municípios avaliados serão da responsabilidade do Governo do Estado de Goiás (NURSOL/UFG, 2015), que pode estabelecer parcerias de cooperação técnica e financeira com a iniciativa privada para que se obtenha profissionais e recursos económicos para a implantação destes sistemas (Brasil, 2010).

Já os custos de operação e manutenção dos SGRU serão pagos pela população através de tarifas. Segundo Oliveira (2010), os serviços de gestão de RU são atividades públicas individuais, prestadas a determinados utentes e passíveis de cobrança de tarifa. Inclusivamente, o Artigo 29.º da Lei n.º 11445/2007 (Política Nacional do Saneamento Básico – PNSB), estabelece que os serviços de limpeza urbana e gestão de resíduos sólidos deverão ter sustentabilidade económico-financeira, que pode ser assegurada mediante a cobrança de taxas ou tarifas, conforme o regime de prestação dos serviços (Brasil, 2007). Também, o Artigo 35.º da PNSB define que as tarifas dos serviços de gestão dos RU podem considerar aspetos como rendimento da população atendida, peso ou volume médio recolhido, por habitante ou domicílio (Brasil, 2007).

Desse modo, a partir da população total e do número de famílias que receberam o benefício social chamado Programa Bolsa Família (PBF) no ano de 2015 (IBGE, 2016; MDS, 2015), calculou-se a percentagem de beneficiários que estarão isentos do pagamento da tarifa de gestão de RU, entre os anos de 2021 a 2040.

Foram calculadas as tarifas mensais (por domicílio e por habitante) para cada ano de projeto, e que serão específicas para cada município. Para tal, foi necessário dividir a análise dos custos e das receitas em três partes:

- *Custos e receitas de cada município*: cada município terá, individualmente, custos de recolha (diferenciada e indiferenciada), triagem e compostagem (doméstica ou comunitária) ou DA, assim como, receitas da venda de materiais recicláveis e de energia elétrica proveniente do biogás da DA (obviamente para aqueles municípios que tiverem DA);

- *Custos e receitas partilhadas entre os 19 municípios*: os custos com a incineração, o aterro e o transporte das cinzas e escórias da incineração ao aterro, assim como as receitas com a venda de energia elétrica proveniente da incineração, serão divididos proporcionalmente entre cada município, segundo a percentagem de RU que cada município encaminhar à incineração;

- *Custos individuais ou partilhados*: os custos com as ET e com o transporte de RU até a incineração serão individuais ou partilhados. Nos casos dos municípios que transportarão individualmente os seus RU à incineração (diretamente ou passando por uma ET), esses custos serão para cada município. Entretanto, no caso dos municípios que irão partilhar as ET, o transporte de RU para a incineração também será partilhado. O

fracionamento dos custos com a ET e com o transporte de RU será feito de forma proporcional com os quantitativos de RU geridos por cada município.

A análise da viabilidade económica do projeto para o *CP*, *CMd* e *CO* foi feita a partir dos estudos de Barros (2017) e Martins, Silva, Carneiro, & Velame (2016), que calcularam o Fluxo de Caixa Acumulado (FC) e, consequentemente, o Valor Atual Líquido (VAL), a Taxa Interna de Rendibilidade (TIR), a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e o período de Retorno do Capital (RC).

O FC é o fluxo líquido financeiro obtido pela soma algébrica das entradas (receitas) e das saídas (custos) efetuadas durante o tempo de projeto.

O VAL calcula o valor presente de uma série de receitas futuras, das quais se deve subtrair o investimento inicial (Sanches, Tosta, & Souza-Filho, 2013). O VAL superior a zero aponta que haverá a recuperação do capital que foi investido.

A TIR é uma medida de referência que iguala o VAL a zero. Se a TIR for maior que a TMA, o projeto será viável economicamente, caso contrário, indica-se a rejeição do projeto. O imposto sobre rendimento anual utilizado para análise do VAL e da TIR foi de 15% ao ano (Martins et al., 2016).

O RC é o período (em anos) necessários para que o capital investido no projeto seja recuperado Sanches et al. (2013). Todas as receitas e custos operacionais para o SGRU avaliado foram atualizados monetariamente (Soares, Moreira, Pinho, & Couto, 2012), aplicando-se a média da inflação do Brasil de 2007 a 2016, que foi de 6,217% ao ano (IBGE, 2017a), e foram extrapolados para 2020, (início do projeto), a partir da Equação 12-6 (Lima, 2015; Soares et al., 2012).

$$V_F = V_P \cdot (1 + i)^{n_{td}} \quad (\text{Equação 12-6})$$

Em que: V_F – Valor futuro (R\$); V_P – Valor presente (R\$); i – Taxa de juros; n_{td} – tempo decorrido (anos).

Os custos de investimento e operação do SGRU proposto foram calculados em Real (R\$), moeda corrente do Brasil, recorrendo as cotações do Banco Central do Brasil (BCB, 2017), para conversões para R\$, sempre que necessário.

Neste estudo utilizou-se o software *MATLAB* (Zhao et al., 2015) para calcular os custos e receitas para os 20 anos e para os três diferentes cenários. O banco de dados inserido no *MATLAB* foi importado de um ficheiro do Microsoft *Excel* e, novamente, para

facilitar a interpretação das saídas do *MATLAB*, esses resultados foram exportados para arquivos do *Excel*.

12.2.6.1. Custos da recolha e transporte de RU

A recolha é a apanha de resíduos, incluindo a triagem e armazenamento na fonte destes materiais que, posteriormente, serão transportados até uma unidade de tratamento de resíduos (Ministério do Ambiente, 2011). Já o transporte de resíduos é o deslocamento do veículo vazio da garagem até ponto de partida da rota de coleta, a condução do veículo de recolha cheio da última paragem dessa rota até o local de descarga de resíduos e, finalmente, o retorno do veículo vazio do ponto de descarga de resíduos até a garagem, ou para uma nova rota de recolha (Larsen, Vrgoc, Christensen, & Lieberknecht, 2009).

Como nos municípios goianos a recolha consolidada é do tipo porta-a-porta, optou-se por considerar um sistema de gestão com este tipo de recolha. Para calcular os custos de operação e manutenção deste sistema de recolha porta-a-porta indiferenciada e diferenciada (de resíduos recicláveis e biorresíduos) foram utilizados os valores de Reichert (2013), apresentados na Tabela 12-2 (extrapolados para o ano de 2020).

Os 19 municípios avaliados terão recolha indiferenciada de RU mistos e recolha diferenciada de materiais recicláveis. Contudo, só terão recolha diferenciada de biorresíduos aqueles municípios que tiverem CC ou DA, pois os municípios com CD não necessitam de recolha diferenciada de biorresíduos.

Quanto aos custos com o transporte, haverá 16 municípios que enviarão todos os RU recolhidos até uma ET, e deste local os resíduos serão transportados por um veículo de longo curso. Nestes casos, considerou-se o custo de R\$ $0,32 \text{ t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ (já extrapolado para 2020), que segundo Bezerra (2012) é o valor médio de transporte de RU com um veículo de recolha com capacidade de 25 t. Outros dois municípios transportarão seus RU diretamente para a incineração com o próprio veículo de recolha, de modo que definiu-se um custo de R\$ $0,49 \text{ t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ (também extrapolado para 2020). Estabeleceu-se um custo 50% maior dos veículos de recolha em comparação aos veículos de longo curso, porque de acordo com Vergara, Damgaard, & Gomez (2016) um veículo de recolha de 10 t consome o dobro do combustível (em $\text{L} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$) relativamente a um veículo de longo curso de 25 t. Como os custos com combustível representam quase 50% dos custos totais de um veículo de recolha (Marques, 2015), decidiu-se por estabelecer este valor unitário para os municípios que irão transportar seus RU diretamente à incineração. Haverá ainda um

município que enviará parte de seus RU através da ET e outra parte diretamente para a incineração. Para este caso, calcularam-se os custos com o transporte a partir da percentagem de RU que será enviado à incineração de forma direta ou via ET.

12.2.6.2. Custos e receitas da triagem de materiais recicláveis

A triagem envolve um conjunto de máquinas e operadores que separam os materiais recicláveis existentes nos RU, para serem vendidos a indústrias recicladoras (BNDES, 2012; Grimberg & Blauth, 1998). Para D’Almeida & Vilhena (2000) e Reichert (2013), a triagem é um importante processo no ciclo de vida dos RU, que possibilita alcançar as metas de desvios de recicláveis dos aterros.

Para calcular os custos de investimento e operação e manutenção de cada uma das 19 centrais de triagem, utilizou-se a metodologia definida por BNDES (2014), conforme apresentado na Tabela 12-2. Se os municípios tratarem até 15 t·dia⁻¹ de recicláveis, considerar-se-ão triagens totalmente manuais, ou seja, com mesas de separação e sem tapetes rolantes. Caso excedam 15 t·dia⁻¹ de recicláveis, as centrais de triagem, terão tapetes rolantes nas mesas de separação e eletroímã, ou seja, serão semi-mecanizadas (BNDES, 2014). Estes dois tipos de central de triagem têm diferentes custos unitários de investimento e operação por tonelada, sendo que o custo unitário da triagem para população de 30 mil a 250 mil habitantes (triagem semi-mecanizada) é superior ao dos municípios entre 10 mil e 30 mil habitantes (triagem manual). A partir de 250 mil habitantes, o custo por tonelada da triagem diminui, devido ao maior quantitativo de resíduos. Saliente-se ainda que, independentemente de manual ou semi-mecanizada, considerou-se que a triagem terá uma eficiência média de 70% (APA, 2015; Colvero et al., 2016).

Todos os materiais segregados serão vendidos e considerados receitas do sistema, que serão calculadas individualmente para cada município. O preço médio unitário de venda dos recicláveis (BNDES, 2014), por componente, está apresentado na Tabela F.1-5 do Anexo F.1.

Legalmente, a triagem é apoiada pela PNRS, que incentiva os municípios a criarem cooperativas ou outras formas de associação de *catadores* (pessoas que trabalham a apanhar materiais recicláveis). Sendo que, aqueles municípios brasileiros que criarem centrais de triagem que empreguem cidadãos com baixos rendimentos, terão prioridade de acesso aos recursos da União (Brasil, 2010). Wilson, Rodic, Scheinberg, & Alabaster

(2010) apontam que o Brasil reconhece os *catadores* informais como profissão, ao criar as cooperativas e associações.

Assim, respeitando a legislação, as centrais de triagem propostas para os 19 municípios serão formadas por *catadores* de materiais recicláveis. Estimou-se o número de *catadores* em cada central de triagem, utilizando-se os dados obtidos no estudo de Colvero et al. (2016):

- *Centrais de triagem manual* (que fazem uso de mesa de separação): a produtividade média mensal dos *catadores* varia entre 2 a 2,5 t·mês⁻¹ de materiais triados;
- *Centrais de triagem semi-mecanizada* (com tapete rolante): a produtividade situa-se entre 3,5 a 4 t·mês⁻¹.

A “produtividade” é referida ao número total de *catadores* presentes na central de triagem, independentemente da atividade exercida, e não apenas os que atuam efetivamente na separação dos materiais recicláveis. Nos custos de operação já estão inseridos os salários dos trabalhadores.

12.2.6.3. Custos da estação de transferência

Estação de transferência é uma instalação situada próxima ao centro produtor de RU, onde os resíduos são transladados do veículo de recolha (com menor capacidade) para veículos com maior capacidade, com o intuito de otimizar o transporte de resíduos até um sistema de tratamento (Bezerra, 2012; Pereira et al., 2013). De acordo com Pereira et al. (2013), os custos totais de investimento e operação de uma ET são de R\$.t⁻¹ 35,1 (Tabela 12-2).

12.2.6.4. Custos e receitas dos tratamentos biológicos

Tanto a compostagem quanto a DA são processos biológicos de degradação da matéria orgânica. Na compostagem, a saída é um composto estabilizado, condicionador de solo, enquanto que na DA obtém-se um biogás cuja composição é maioritariamente CH₄ (entre 45% e 70%) e CO₂ (entre 35% e 60%), que pode ser utilizado para produção de energia elétrica (FEAM & Engebio, 2010; Gueri, Souza, & Kuczman, 2018; Woon & Lo, 2016) e um digerido não estabilizado (Carvalho, 2013; Cerda et al., 2018). Ambas as tecnologias são uma forma eficiente de valorização da fração orgânica dos resíduos, além de serem uma alternativa ambientalmente adequada de desvio destes resíduos da deposição final (Cerda et al., 2018; Silva, Roza & Rathmann, 2012).

Neste estudo foram considerados dois tipos de compostagem:

- *CD*: em que os biorresíduos gerados nos domicílios são tratados nas próprias residências, gerando um composto que pode ser utilizado em hortas e jardins (Vázquez & Soto, 2017).

- *CC* (ao ar livre): em que os biorresíduos, separados na fonte, são encaminhados para uma instalação local de compostagem ao ar livre. Rothenberger, Zurbrügg, Enayetullah, & Sinha (2006) indicam que um sistema de compostagem descentralizada é favorável em países em desenvolvimento, pois depende menos de tecnologias avançadas e aumenta as oportunidades de emprego na comunidade local.

Para calcular os gastos necessários com os dois tipos de compostagem e da DA, utilizaram-se metodologias diferentes:

- *CD*: o custo médio de investimento e operação, nos domicílios dos municípios que tratem quantitativos inferiores a 2 000 t·ano⁻¹ de biorresíduos, foram obtidos a partir do estudo de EC (2000) e estão apresentados na Tabela 12-2. Foi considerado um compostor de 300 litros, com uma vida útil de 10 anos (Carvalho, Matos, & Gomes, 2011; EC, 2000).

Tabela 12-2: Custos de investimento e operação da recolha de resíduos, triagem de materiais recicláveis, estação de transferência e compostagem doméstica, extrapolados para 2020.

Tipo de serviço/Sistema de gestão de RU	Custos (R\$.t ⁻¹)	
	Investimento inicial	Custos de operação
Recolha de RU – Reichert (2013)		
Recolha diferenciada de materiais recicláveis secos	-	269,25
Recolha diferenciada de biorresíduos	-	247,47
Recolha indiferenciada de RU	-	131,39
Triagem de materiais recicláveis – BNDES (2014)		
Até 10 mil habitantes	47,39	689,30
> 10 mil a 30 mil habitantes	23,69	653,39
> 30 mil a 250 mil habitantes	25,85	710,84
> 250 mil a 1 milhão de habitantes	16,51	172,32
> 1 milhão de habitantes	10,05	100,52
Estação de transferência – Pereira et al. (2013)	6,10	28,98
	Custos (R\$.domicílio ⁻¹)	
Compostagem doméstica – EC (2000)	238,14	1,02

Para o cálculo do número de residências a ter compostores (a fim de atingir as metas de desvios de biorresíduos), utilizaram-se os dados da Tabela F.1-6 do Anexo F.1, que apresenta a média de habitantes·domicílio⁻¹ para cada um dos 19 municípios avaliados.

Para Melo, Vinciguerra, Carmo, & Bolognani (2016), a CD tem uma eficiência de 61%, que é a percentagem desviada da deposição final. Para garantir as metas de desvios de biorresíduos definidas no PLANARES, foram adicionados 20% mais compostores além do estritamente necessário para atingir as metas.

- *CC e DA*: os custos de investimento e operação da CC ao ar livre e da DA foram obtidas no estudo de Tsilemou & Panagiotakopoulos (2006), apresentados na Tabela 12-3. A CC contempla as fases de compostagem intensiva e o estágio de maturação do composto. A DA contemplada é digestão “seca”, seguida de estabilização aeróbia do digerido (Tsilemou & Panagiotakopoulos, 2006). Considerou-se que 80% do que será destinado à CC e a DA (através da recolha diferenciada de biorresíduo) será desviado dos sistemas de eliminação de RU, ou seja, haverá 20% de refugos contaminados.

Além dos custos, a DA gera receitas com a venda de energia elétrica. Conforme Fernández-González, Grindlay, Serrano-Bernardo, Rodríguez-Rojas, & Zamorano (2017), a partir do biogás recuperado no processo de DA, é possível obter o quantitativo de energia elétrica gerada (Equação 12-7). Segundo ANEEL (2018), a energia elétrica proveniente do biogás será comercializada a R\$ 319,48·MWh⁻¹, valor extrapolado para 2020.

$$E_I = \frac{0,28 \cdot B \cdot (CH_4)_p \cdot PCI_{CH_4} \cdot \eta_b}{1000}$$

(Equação 12-7)

Em que:

E_I – energia elétrica produzida (em MWh);

0,28 – conversão de MJ para kWh (1 MJ = 0,28 kWh);

B – quantitativo de biorresíduos tratados anualmente na DA (t·ano⁻¹);

$(CH_4)_p$ – relação da geração de CH₄ da fração orgânica do RU (Nm³·t⁻¹). Assim como Fernández-González et al. (2017), considerou-se o valor de 115 Nm³·t⁻¹;

PCI_{CH_4} – poder calorífico inferior do CH₄, de 37,2 MJ·Nm⁻³ (Gómez, Zubizarreta, Rodrigues, Dopazo, & Fueyo, 2010; Lombardi & Carnevale, 2016);

η_b – rendimento de transformação de gás em eletricidade. Considerou-se um rendimento de 0,29 para motores de combustão interna, estando descontado o autoconsumo de energia elétrica do sistema (Fernández-González et al., 2017).

12.2.6.5. Custos e receitas da incineração

A incineração é um processo de valorização dos resíduos, em que a partir do poder calorífico destes materiais se obtém energia térmica e/ou elétrica (Silva et al., 2012). Este processo gera dois tipos de emissões sólidas: cinzas (resíduos do tratamento dos gases) e escórias, das quais são extraídas ligas ferrosas e não ferrosas que podem ser encaminhadas para a reciclagem (LIPOR, 2017).

Dentre as vantagens da incineração destaca-se a eliminação de elementos patogénicos e tóxicos, possibilidade de produção de energia sob a forma de eletricidade ou vapor de água e uma redução entre 80 a 90% do volume original dos resíduos sólidos gerados (Russo, 2003; Sharholy, Ahmad, Mahmood, & Trivedi, 2008). Além disso, a incineração diminui em cerca de 75% o peso dos resíduos (BNDES, 2013).

Os dados de Fernández-González et al. (2017) indicam que, do total de resíduos recebidos em um incinerador, aproximadamente 24,6% do peso original é convertido em cinzas volantes e escória a ser enviados para aterro. De acordo com APA (2015), em média 26,7% dos resíduos das duas incineradoras de Portugal (situados nos municípios de Lisboa e de Maia) saem como cinzas volantes e escórias.

O incinerador escolhido para o SGRU proposto é do tipo de combustão em grelha, com recuperação de energia sob forma de eletricidade (Tsilemou & Panagiotakopoulos, 2006). Os custos de investimento e operação da incineração estão apresentados na Tabela 12-3.

Conforme estudo de Fernández-González et al. (2017), calculou-se ainda o quantitativo de energia elétrica gerada anualmente na incineração a partir da Equação 12-8.

$$E_I = 0,28 \cdot R_i \cdot PCI_{RF} \cdot \eta_i \quad (\text{Equação 12-8})$$

Em que:

E_I – energia elétrica produzida (em MWh);

0,28 – conversão de MJ para kWh (1 MJ = 0,28 kWh);

R_i – quantitativo de resíduos indiferenciados tratados anualmente na incineração ($\text{t} \cdot \text{ano}^{-1}$);

PCI_{RF} – poder calorífico inferior dos resíduos que chegam à incineração ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$);

η_i – rendimento do sistema de incineração. Neste estudo adotar-se-á um rendimento de 22%, conforme dados de Brogaard & Christensen (2016), já estando descontado o consumo energético do próprio sistema de incineração (Fernández-González et al., 2017).

Assim como na DA, as receitas com a venda da energia elétrica produzida na incineração serão computadas como receita. O preço de venda desta energia elétrica foi obtido a partir de estudo de ABRELPE (2013), que estabelece um valor de R\$ 267,92 MWh⁻¹ (valor já convertido de dólar americano (USD) para R\$ e extrapolado para 2020). Este valor é compatível com estudos de FEAM (2012) e Rossi (2014), que definem, respetivamente, os preços de venda da energia elétrica gerada na incineração de R\$ 259,2 MWh⁻¹ e R\$ 283,0 MWh⁻¹, valores extrapolados para 2020.

12.2.6.6. Custos do aterro

Atualmente, existem três tipos de deposição final de RU nos municípios avaliados:

- *Aterro licenciado*: processo em que foram utilizados princípios de engenharia para confinar os RU na menor área possível e com o menor volume permissível, de modo a minimizar os impactos ambientais e danos à saúde pública (ABNT, 1992).
- *Aterro não licenciado* (ou aterro controlado): processo em que os RU são depositados em uma vala com ou sem impermeabilização de base ou tratamento do lixiviado. Os RU são cobertos com terra ou resíduos de construção e demolição, visando conter a percolação da água da chuva e a proliferação de vetores de doenças (Netto & Santos, 2012; Oliveira & Gonçalves, 2015).
- *Lixeira*: processo em que os RU são lançados no solo sem quaisquer critérios técnicos ou medidas de proteção ao ambiente ou à saúde pública. Não há controle dos quantitativos, tipos ou grau de perigosidade dos resíduos depositados (Nascimento, 2007; Rosa, Paula, Coleone, & Campos, 2017).

De acordo com Colvero, Gomes, Tarelho, & Matos (2017a), 15 dos 19 municípios avaliados destinam seus RU para lixeiras ou aterros controlados, sendo que somente quatro municípios (Aparecida de Goiânia, Bonfinópolis, Hidrolândia e Senador Canedo) possuem aterro licenciado (SECIMA/GO, 2015). Contudo, conforme apresentado na Tabela F.1-1 do Anexo F.1, os aterros licenciados destes municípios se situam em áreas restritas para a instalação de sistemas de deposição final de RU (Colvero et al., 2017a).

Diante deste cenário, decidiu-se por calcular os custos de investimento e operação de um aterro licenciado (Tabela 12-3) que esteja situado em área não restrita para a deposição final de RU e que, simultaneamente, esteja o mais próximo possível do futuro sistema de incineração, para a deposição final de cinzas e escórias.

Tabela 12-3: Funções de custos aproximados de instalações de tratamento e deposição final de resíduos urbanos.

Tipo de instalação	Funções de custos sugeridas		Capacidade (t·ano ⁻¹)
	Investimento de capital inicial (R\$)	Custos de operação (R\$·t ⁻¹)	
Compostagem ao ar livre	$y = 4\,000 \cdot x^{0,7}$	$y = 7\,000 \cdot x^{-0,6}$	$2\,000 \leq x \leq 100\,000$
Digestão anaeróbia	$y = 35\,000 \cdot x^{0,6}$	$y = 17\,000 \cdot x^{-0,6}$	$2\,500 \leq x \leq 100\,000$
Incineração	$y = 5\,000 \cdot x^{0,8}$	$y = 700 \cdot x^{-0,3}$	$20\,000 \leq x \leq 600\,000$
Aterro de grande porte	$y = 3\,500 \cdot x^{0,7}$	$y = 150 \cdot x^{-0,3}$	$60\,000 \leq x \leq 1\,500\,000$

x: variável independente (quantitativo de resíduo); y: variável dependente (custo).

Fonte: Adaptado de Tsilemou & Panagiotakopoulos (2006).

Assim como no estudo de Tsilemou & Panagiotakopoulos (2006), donde se retiraram as expressões matemáticas para calcular os custos de investimento e operação da CC, DA, incineração e aterro, nos custos totais já estão incluídos os custos de depreciação dos sistemas. Como os dados da Tabela 12-3 são em euros e para 2006, converteram-se de EUR para R\$ (moeda corrente do Brasil) e atualizaram-se para 2020 (ano de investimento) e de 2021 a 2040 (anos de operação dos sistemas).

12.2.6.7. Tarifário da gestão dos resíduos urbanos

Conforme estabelecido por Butto, Trindade, Sado, & Kileber (2014), sugere-se que a tarifa a ser cobrada da população pela gestão dos RU seja composta por uma parte fixa, sobre os custos pela disponibilidade do serviço; e por uma parte variável, associada ao quantitativo de RU produzidos. Como a medição direta dos RU gerados em cada domicílio é mais onerosa, pelo menos nos primeiros anos, a sugestão é que seja feita uma estimativa indireta da produção de RU em cada domicílio (Butto et al., 2014). De modo que, tal como estudo de Franco, Castilhos Júnior, & Souza (2014), definiu-se por fazer uma análise estatística para verificar se há relação entre a geração *per capita* de RU e o consumo médio *per capita* de água ou de energia elétrica. Os dados comparados são de 2016 (Tabela 12-4).

Para avaliar a correspondência entre a geração *per capita* de RU e o consumo *per capita* de água ou o consumo *per capita* de energia elétrica nos 19 municípios avaliados, fez-se uma regressão linear com a correlação de *Pearson* (r), que mensura a intensidade e a direção da associação linear entre variáveis quantitativas, com a ferramenta *Excel*. O coeficiente de *Pearson* varia entre -1 e +1 ($-1 \leq r \leq +1$), sendo que se $r > 0$ as variáveis se alteram no mesmo sentido, enquanto que se $r < 0$ indica que as variáveis se alteram em sentidos opostos. O valor em módulo da coeficiente de *Pearson* ($|r|$) aponta a intensidade da associação, e está dividido nas seguintes faixas de classificação: $r < 25\%$, correlação

fraca; $25\% \leq r < 50\%$, correlação moderada; $50\% \leq r < 75\%$, correlação forte e; $r > 75\%$, correlação muito forte (Marôco, 2014). Para a regressão linear foi necessário estabelecer um *Valor-p* (p). Este indicador (que fica a critério do investigador) representa o exato nível de significância (α), ou seja, o menor α em que a hipótese nula pode ser rejeitada (Gujarati & Porter, 2011; Marôco, 2014). Adotou-se um α de 0,05, o que significa que se $p < 0,05$ deve-se rejeitar a hipótese nula, enquanto que se $p > 0,05$ aceita-se a hipótese nula. Este p representa que o intervalo de confiança (IC) é de 95%, isto é, em 100 amostras, 95 estarão dentro do IC (Field, 2013).

Tabela 12-4: Geração *per capita* de RU e consumos médios *per capita* de água e de energia elétrica para os 19 municípios do SGRU proposto, para o ano de 2016.

Município	Geração <i>per capita</i> RU 2016 (Colvero, Pfeiffer, Carvalho, & Gomes, 2017)	Consumo médio <i>per capita</i> de água 2016 (SNSA, 2018)	Consumo médio <i>per</i> <i>capita</i> de energia elétrica residencial 2016 (IMB, 2017)
	(kg hab ⁻¹ .dia ⁻¹)	(L.hab ⁻¹ .dia ⁻¹)	(kWh hab ⁻¹ .ano ⁻¹)
Abadia de Goiás	0,51	141,4	813,9
Aparecida de Goiânia	0,88	110,1	694,7
Aragoiânia	0,52	135,9	616,3
Bonfinópolis	0,51	121,9	531,5
Brazabrantes	0,46	234,9	558,7
Caldazinha	0,46	139,8	479,7
Caturaí	0,47	142,1	514,4
Cromínia	0,46	166,5	565,3
Goianápolis	0,53	129,5	607,9
Goiânia	1,02	155,1	952,4
Goianira	0,63	105,8	788,3
Guapó	0,55	141,5	614,1
Hidrolândia	0,57	172,4	685,8
Mairipotaba	0,46	159,4	538,6
Professor Jamil	0,46	154,5	477,5
Santa Bárbara de Goiás	0,49	121,8	547,6
Santo Antônio de Goiás	0,48	141,2	751,2
Senador Canedo	0,72	123,2	650,3
Trindade	0,72	120,0	681,5

12.3. Resultados e discussão

12.3.1. Localização do sistema de incineração, do aterro e das estações de transferência

Para Bridi (2008) e Pereira et al. (2013), a identificação do CM entre os municípios que integrarão um SGRU permite escolher um local para instalar um sistema de tratamento

centralizado e o mais próximo dos maiores centros produtores de resíduos, garantindo a minimização dos custos com o transporte.

Assim, após identificação do CM dos 19 municípios do SGRU proposto, pôde-se definir um local para a instalação da incineração. Apesar do CM ter indicado o município de Goiânia (capital de Goiás, que possui o maior número de habitantes do Estado), optou-se por propor a sede do sistema de incineração no município vizinho de Aparecida de Goiânia, porque neste município existem quatro polos industriais, sendo o maior Distrito Industrial goiano (FIEG, 2015). Por outro lado, Aparecida de Goiânia possui o segundo maior contingente populacional do Estado de Goiás, e é contíguo com Goiânia (Anjos, 2009; IBGE, 2016; SEGPLAN & SEPIN, 2011). Desta forma, o sistema de incineração proposto estará localizado no *Polo Empresarial* que potencialmente consumirá a energia elétrica produzida na incineração. Este polo situa-se junto à rodovia BR-153, que atravessa todo o Estado e é a mais extensa rodovia brasileira (Lauria, 2012; SEPLAN, 2010).

Os centros urbanos a mais de 25 km da incineração enviarão os RU para uma ET, para posteriormente serem encaminhados para a incineração. Identificou-se a necessidade de nove ET partilhadas entre 17 municípios, sendo que apenas Hidrolândia e Aparecida de Goiânia enviarão seus RU diretamente à incineração.

Já em Goiânia, ocorrerá uma situação peculiar: possuirá uma ET (a 27,1 km da incineração) que receberá 100% dos RU do município vizinho Senador Canedo e parte dos RU do próprio município para enviar à incineração. Utilizando-se a função “*algoritmo de menor distância*” do software *ArcGIS*, identificou-se que 17,1% da área do município de Goiânia está mais próxima da ET do que da incineração. Diante disso, considerou-se que esta percentagem de RU de Goiânia será enviada para a ET, e deste sistema encaminhada para a incineração. Os restantes 82,9% serão enviados diretamente à incineração, a uma distância média de 21,9 km do centro urbano. Os demais municípios que utilizarem ET, enviarão 100% dos seus RU à incineração.

Conhecida a localização do sistema de incineração, definiu-se onde estará instalado o aterro que receberá as cinzas e escórias produzidas por esse processo. A identificação de uma área para a instalação do aterro (o mais próximo possível da incineração) foi dificultada pelo facto de que nove dos 19 municípios que integram o SGRU proposto não possuírem área livre para a instalação de aterros que se deve principalmente à ocupação territorial urbana e pela existência de aeródromos.

No total, 80,7% da área total dos 19 municípios é restrita, 11,5% é livre e 7,8% sujeita a aprovação para a construção de aterros (Tabela F.1-7 do Anexo F.1). Na Figura 12-2 estão apresentadas as áreas restritas, sujeitas a aprovação e livres para a construção de sistemas de deposição final de RU nos 19 municípios que integrarão o SGRU proposto.

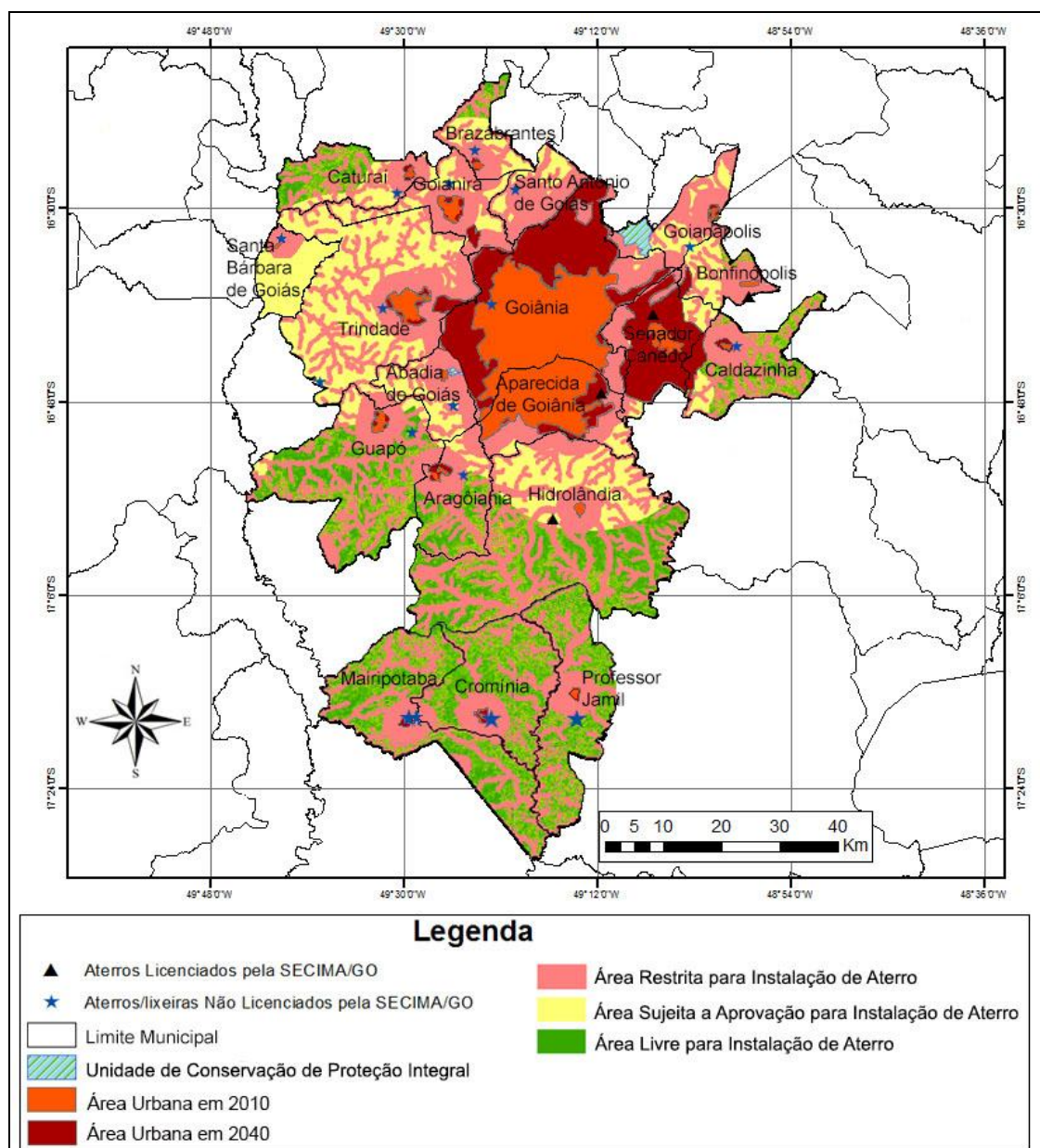


Figura 12-2: Mapa de áreas livres, sujeitas a aprovação ou restritas para a instalação de sistemas de deposição final de RU nos 19 municípios que integram o SGRU proposto.

Nos municípios avaliados foram identificados 14 lixeiras, três aterros não licenciados e quatro aterros licenciados, o que evidencia que, assim como no resto do Estado de Goiás, a

maioria dos municípios goianos possuem sistemas de deposição final de RU irregulares, sem qualquer controle (Pinheiro et al. 2015).

As nove ET, a incineração e o aterro propostos estão apresentados na Figura 12-3. O aterro (que estará localizado na área livre mais próxima da incineração) situa-se no município de Hidrolândia, na margem da rodovia BR-153 e a 29,3 km da incineração.

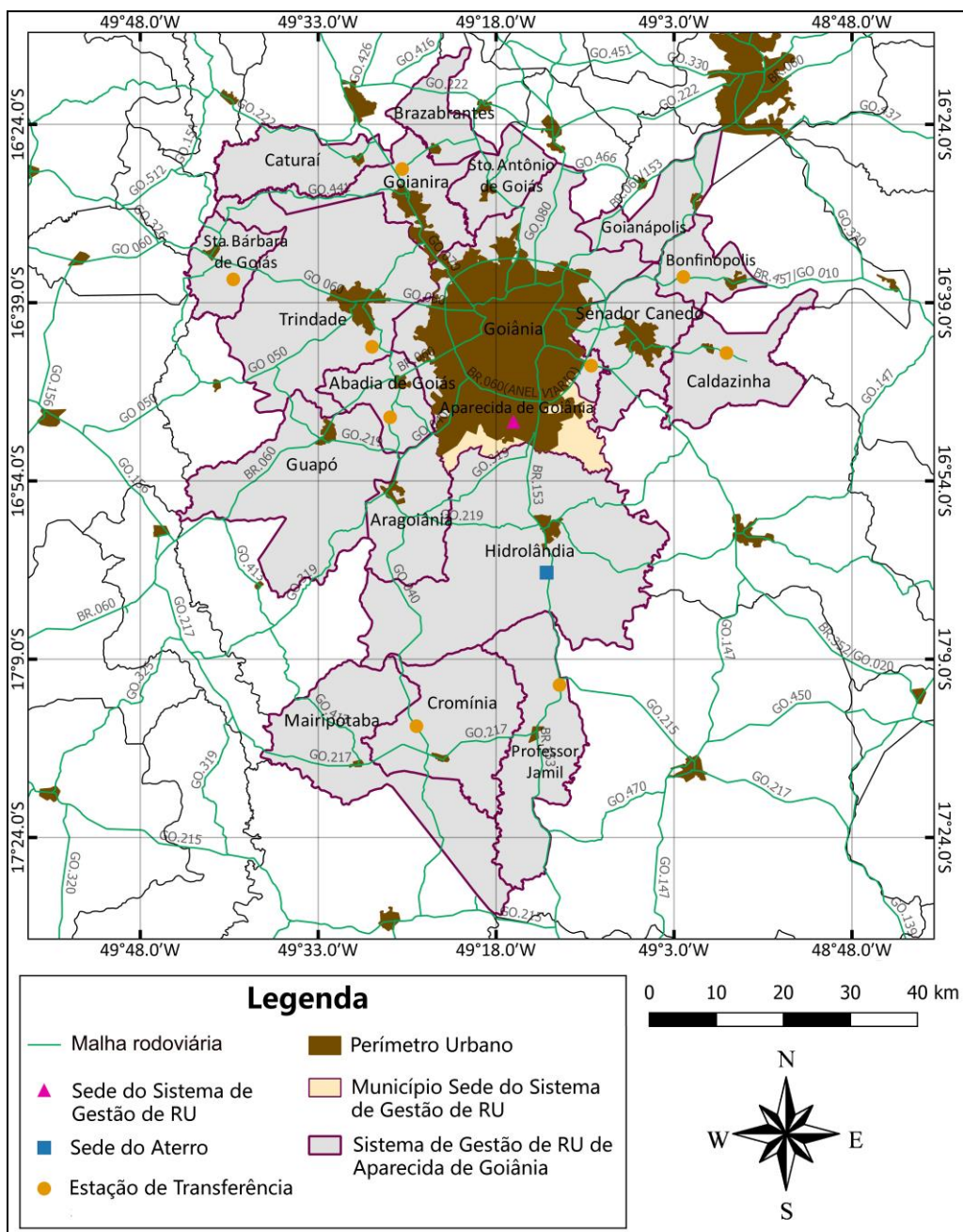


Figura 12-3: Sistema de gestão de resíduos urbanos proposto para 19 municípios situados junto à Goiânia, capital do Estado de Goiás.

As coordenadas geográficas dos centros urbanos dos 19 municípios, das ET, da incineração e do aterro estão apresentadas nas Tabela F.1-8 do Anexo F.1. Já as distâncias, em km, usadas para calcular os custos de transporte estão apresentadas na Tabela F.1-9 do Anexo F.1. Calculou-se também os custos com o transporte para enviar as cinzas e escórias da incineração até o aterro (58,6 km ida e volta) que serão divididos entre os municípios, conforme a porcentagem de RU enviado à incineração.

Não se utilizaram os aterros licenciados (situados nos municípios de Aparecida de Goiânia, Bonfinópolis, Hidrolândia e Senador Canedo) por estarem instalados em áreas restritas para a operação deste tipo de sistema. Estes aterros se situam a menos de 3 km do perímetro urbano ou não respeitam as distâncias mínimas para os corpos hídricos superficiais (Figuras 12-4a, 12-4b, 12-4c e 12-4d) conforme determina a Resolução CEMAm n.º 05/2014 (SEMARH/GO, 2014). Há ainda o não cumprimento da distância mínima de 20 km do aterro para os aeródromos (Brasil, 2012).

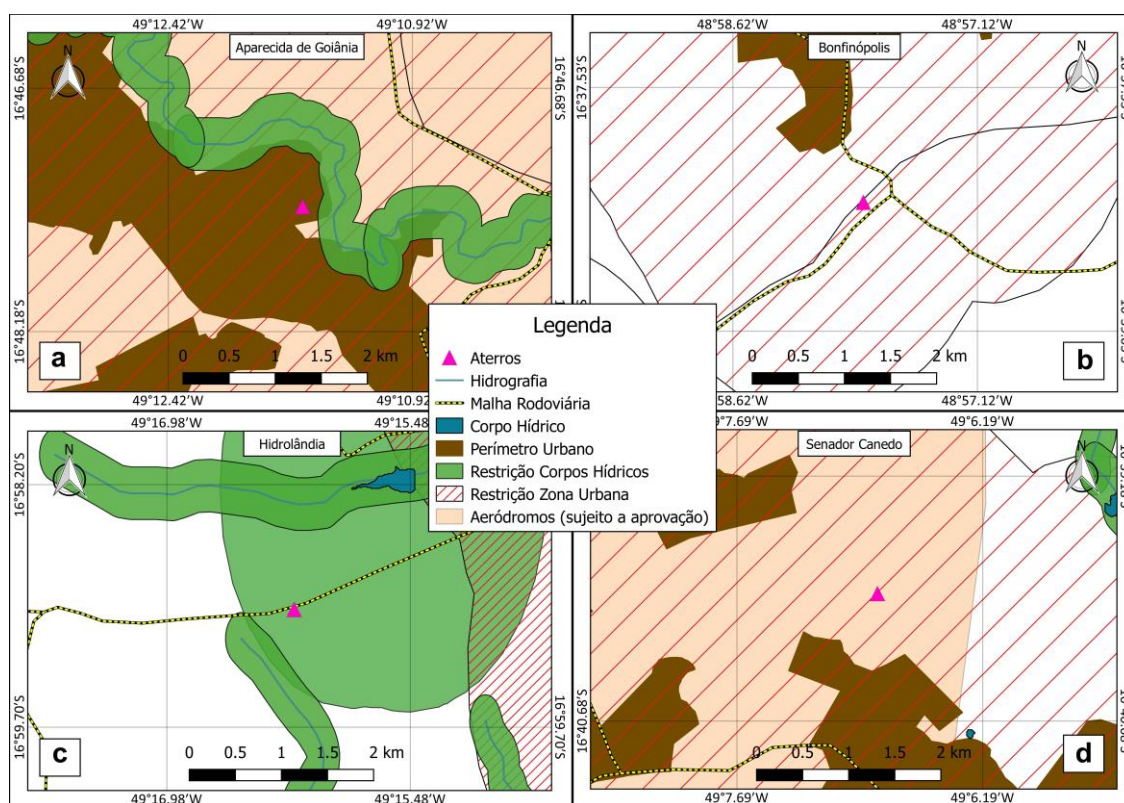


Figura 12-4: Mapa dos aterros de Aparecida de Goiânia (a), Bonfinópolis (b), Hidrolândia (c) e Senador Canedo (d) dentro de áreas restritas para a instalação de sistemas de deposição final de RU.

As restrições de cada aterro são:

- *Aterro de Aparecida de Goiânia*: situa-se dentro do perímetro urbano, a 0,19 km dos domicílios mais próximos ao aterro;
- *Aterro de Bonfinópolis*: está localizado dentro da zona restrita do perímetro urbano, a uma distância de 0,7 km dos aglomerados urbanos mais próximos;
- *Aterro de Hidrolândia*: situa-se a 1,7 km de um corpo hídrico com ponto de captação para abastecimento público, sendo que a distância mínima é de 2,5 km;
- *Aterro de Senador Canedo*: este aterro localiza-se dentro da zona de restrição para perímetro urbano, pois está a de 0,68 km dos aglomerados urbanos mais próximos.

Salienta-se que estes quatro aterros terão suas licenças de operação finalizadas antes de 2021, ano de início de funcionamento do SGRU proposto. O aterro com licença mais longa é o de Senador Canedo, que irá até 23/12/2020 (SECIMA/GO, 2015).

12.3.2. As metas de desvios de RU

No PLANARES estão estabelecidas metas de desvios de biorresíduos e materiais recicláveis do aterro especificamente para 2015, 2019, 2023, 2027 e 2031. Entretanto, foi necessário calcular as metas anuais de desvios de RU para os anos intermédios entre 2021 e 2031 (Tabela F.1-10 do Anexo F.1). Após 2031 (até 2040) considerou-se que os SGRU atingirão a estabilidade, e que as percentagens de desvios obtidas no ano da última meta do PLANARES manter-se-ão constantes. As expressões que representam os comportamentos lineares previstos, de 2021 a 2040, para os desvios de resíduos recicláveis e biorresíduos para cada cenário, estão apresentadas na Tabela 12-5 (e representadas nas Figuras F.1-1 e F.1-2 do Anexo F.1).

Tabela 12-5: Metas de desvios de materiais recicláveis e biorresíduos para os cenários pessimista, moderado e otimista de 2021 a 2040.

Cenários	Metas de desvios de materiais recicláveis		Metas de desvios de biorresíduos	
Pessimista (CP)	$1,9748x - 3989$	$2021 \leq x < 2023$	$3,4937x - 7057,4$	$2021 \leq x < 2023$
	$0,4557x - 915,99$	$2023 \leq x < 2031$	$2,6203x - 5290,4$	$2023 \leq x < 2031$
	9,570	$2031 \leq x < 2040$	31,444	$2031 \leq x < 2040$
Moderado (CMd)	$2,2786x - 4602,7$	$2021 \leq x < 2023$	$5,8229x - 11762$	$2021 \leq x < 2023$
	$0,4557x - 915,07$	$2023 \leq x < 2031$	$1,9652x - 3958,2$	$2023 \leq x < 2031$
	10,481	$2031 \leq x < 2040$	33,191	$2031 \leq x < 2040$
Otimista (CO)	$2,7343x - 5523,3$	$2021 \leq x < 2023$	$8,1521x - 16467$	$2021 \leq x < 2023$
	$0,3988x - 798,47$	$2023 \leq x < 2031$	$1,3102x - 2626$	$2023 \leq x < 2031$
	11,393	$2031 \leq x < 2040$	34,938	$2031 \leq x < 2040$

Com os desvios de RU para cada cenário e com a estimativa da produção de RU para cada município ao longo dos 20 anos de projeto, calcularam-se os quantitativos de resíduos a serem desviados anualmente. No *CO* seriam desviadas 1,16 milhão de toneladas a mais do que no *CP* (Tabela 12-6). Considerando-se que 25% dos resíduos encaminhados à incineração acabariam no aterro partilhado de Hidrolândia, isso representaria cerca de 290 mil toneladas a menos de RU sendo depositadas no aterro no *CO* em relação ao *CP*. Este quantitativo de resíduos equivale à produção de 20 anos de RU de um município goiano de cerca de 60 mil habitantes.

Tabela 12-6: Projeção dos quantitativos de RU que devem ser desviados do aterro e enviados à incineração entre os anos 2021 e 2040 para os cenários pessimista, moderado e otimista.

	Cenário Pessimista (<i>CP</i>)	Cenário Moderado (<i>CMd</i>)	Cenário Otimista (<i>CO</i>)
	(t)	(t)	(t)
Produção total de RU	19 082 405,4	19 082 405,4	19 082 405,4
Recicláveis desviados	1 098 407,9	1 214 794,2	1 346 636,6
Biorresíduos desviados	3 776 334,5	4 235 405,1	4 692 475,7
RU enviados à incineração	14 207 663,0	13 633 206,1	13 043 293,1

12.3.3. A caracterização e o PCI dos RU nos municípios do Estado de Goiás

Para calcular o PCI dos RU (para cada um dos 20 anos de projeto) nos municípios avaliados, estimou-se a caracterização detalhada dos RU goianos, na origem e após serem encaminhados para a triagem, compostagem/DA e incineração (Tabelas F.1-11, F.1-12, F.1-13 e F.1-14 do Anexo F.1).

Considerando-se o quantitativo de RU produzido em 2015 pelos 19 municípios avaliados e um desvio efetivo de 2% (dos 2,8% de materiais recicláveis que são recolhidos de forma diferenciada), o PCI atual dos RU para estes municípios é de $9,28 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Este valor é similar ao obtido em estudo de Poletto Filho & Poletto (2017), que apontaram que no Brasil o PCI dos RU sem desvios é de $9,60 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, assim como os estudos de Berton (2016) e Pavan (2010), que referiram que o PCI do RU em municípios brasileiros, na origem, é de $10 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

O PCI útil (ou seja, já descontando os consumos da energia elétrica na instalação) dos RU que serão enviados à incineração de 2021 a 2040, por cenário (Tabela 12-7), varia de $9,51 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ para 2021 no *CP* (menor desvio de RU) até $11,11 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ para 2040 no *CO* (maiores desvios), sendo que se estima que a incineração seja tecnicamente viável a

partir de $8,37 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (EPE, 2008). Salienta-se que o aumento das taxas de desvios de resíduos recicláveis, sem elevar as taxas de desvios de biorresíduos, significaria reduzir o PCI dos resíduos indiferenciados, o que poderia comprometer a valorização energética destes resíduos (Merrild, Larsen, & Christensen, 2012). Diante disso, é importante que as metas de desvios de RU estabelecidas pelo PLANARES sejam alcançadas paralelamente. Como a partir de 2031 a meta de desvios será constante até 2040, o PCI de 2031 a 2040 será o mesmo.

Tabela 12-7: Estimativa do PCI útil dos RU que serão encaminhados à incineração em 2021 e de 2031-2040 (que será constante) para os cenários pessimista, moderado e otimista.

Ano	Cenário Pessimista (CP)	Cenário Moderado (CMd)	Cenário Otimista (CO)
	Poder calorífico inferior ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)		
2021	9,51	9,64	9,76
2031–2040	10,97	11,04	11,11

No CP, em que há menores desvios de RU, estima-se a produção de cerca de 457 593 MWh de energia elétrica. Já para o CO, que possui os maiores desvios de RU, estima-se que serão produzidos 434 526 MWh de energia elétrica. Nos 19 municípios avaliados são consumidos, em média, 2,063 MWh por residência por ano (IMB, 2017). Este valor está próximo ao obtido em estudo de Berton (2016), que apontou que nos municípios de Campo Largo e de Curitiba, Brasil, são consumidos 2,200 MWh de energia elétrica por residência por ano. Assim, a partir do consumo médio de cada residência (nos municípios avaliados neste estudo), estima-se que a energia que será produzida na incineração no CO, por exemplo, seria suficiente para atender 210 628 domicílios.

12.3.4. Análise econômica do SGRU proposto e a forma de cobrança pela gestão dos RU

Com as receitas e os custos totais do SGRU proposto para os 19 municípios, fez-se a análise econômica para os três cenários, comparando-se os cenários com CC com os cenários que tenham municípios com DA. Os restantes processos serão os mesmos para todos os municípios.

Na Figura 12-5, apresenta-se o balanço mássico para o CO em 2040. Somente neste ano, serão cerca de 1,076 milhão de toneladas de RU produzidas, em que a meta é desviar 8% de recicláveis e 28% de biorresíduos. Os demais 64% serão enviados à incineração.

O SGRU terá nove ET a atender 16 municípios, mais 17,1% dos RU de Goiânia, enquanto que nos outros dois municípios, mais os 82,9% dos RU de Goiânia serão

encaminhados diretamente ao sistema de incineração de Aparecida de Goiânia. Todos os municípios terão coleta diferenciada de recicláveis (que serão encaminhados para a triagem) e seis municípios terão coleta diferenciada de biorresíduos (que serão enviados para a compostagem ou para a DA).

No total, 13 municípios terão CD e os outros seis municípios CC ou DA. Quanto à incineração, a energia elétrica será comercializada e as cinzas e escórias serão enviados ao aterro de Hidrolândia.

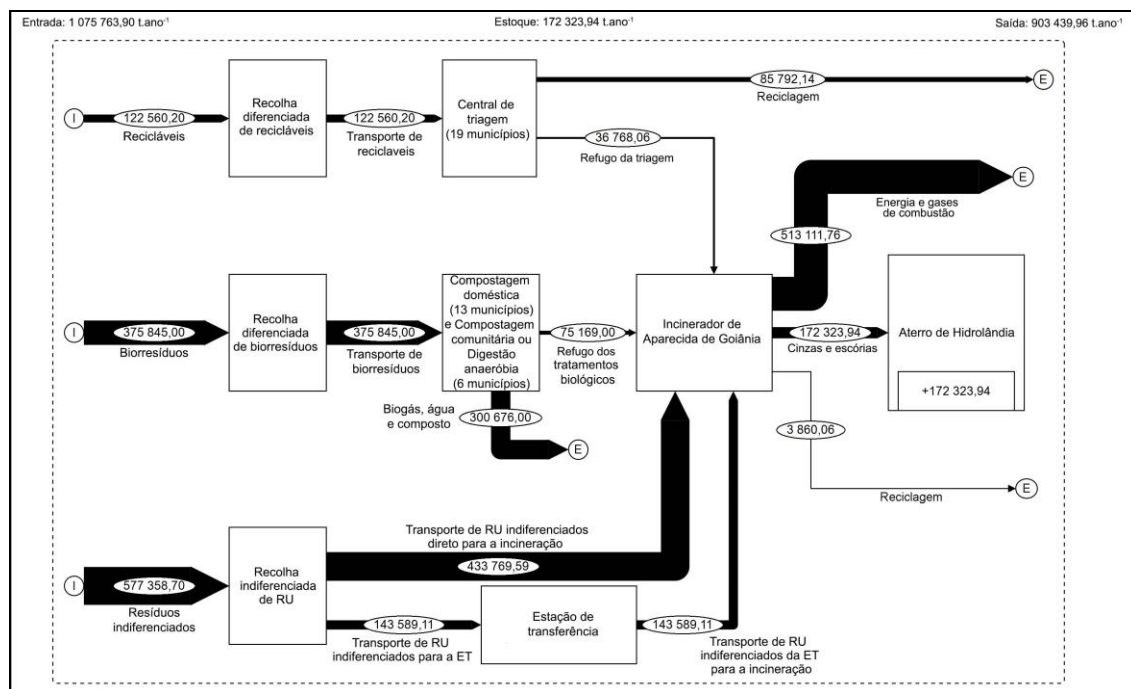


Figura 12-5: Balanço mássico previsto para o SGRU proposto para 2040, cenário otimista.

Quanto aos custos totais do projeto, o *CO* do SGRU com DA, é o mais oneroso (Tabela 12-8), custando R\$ 8,95 mil milhões ao longo dos 20 anos de projeto, 11% mais caro que o *CO* com CC, que custará R\$ 8,05 mil milhões (valores já extrapolados para 2020). Comparando-se os SGRU com as mesmas tecnologias, o *CO* tem custos maiores que o *CP* e *Cmd*. Entretanto, um *CO* com CC é 8,0% mais barato do que o *CP* com DA.

Tabela 12-8: Estimativa dos custos totais (em milhões de R\$) de investimento e operação dos SGRU propostos para 19 municípios goianos, de 2020 a 2040, para os três cenários avaliados – valores extrapolados para 2020.

	Cenário Pessimista (CP)		Cenário Moderado (CMd)		Cenário Otimista (CO)	
	Compostagem comunitária	Digestão anaeróbia	Compostagem comunitária	Digestão anaeróbia	Compostagem comunitária	Digestão anaeróbia
	(Milhões R\$)	(Milhões R\$)	(Milhões R\$)	(Milhões R\$)	(Milhões R\$)	(Milhões R\$)
Investimento						
Estação de transferência	0,87	0,87	0,84	0,84	0,80	0,80
Triagem	1,04	1,04	1,15	1,15	1,28	1,28
Compostagem doméstica	13,42	13,42	14,34	14,34	15,28	15,28
Compostagem comunitária	208,96	-	226,34	-	243,16	-
Digestão anaeróbia	-	613,57	-	656,96	-	698,52
Incineração	1 573,52	1 573,52	1 522,41	1 522,41	1 469,48	1 469,48
Aterro	108,49	108,49	105,40	105,40	102,18	102,18
Total Investimento	1 906,30	2 310,91	1 870,48	2 301,11	1 832,18	2 287,54
Operação						
Recolha diferenciada de recicláveis	422,49	422,49	467,26	467,26	517,97	517,97
Recolha diferenciada de biorresíduos	1 146,52	1 146,52	1 285,55	1 285,55	1 424,58	1 424,58
Recolha indiferenciada	1 866,75	1 866,75	1 791,27	1 791,27	1 713,76	1 713,76
Transporte	358,68	358,68	344,21	344,21	329,35	329,35
Estação de transferência	411,75	411,75	395,10	395,10	378,01	378,01
Triagem	297,21	297,21	328,64	328,64	364,18	364,18
Compostagem doméstica	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07
Compostagem comunitária	283,49	-	300,42	-	315,05	-
Digestão anaeróbia	-	688,48	-	729,58	-	765,12
Incineração	1 144,87	1 144,87	1 112,29	1 112,29	1 078,34	1 078,34
Aterro	98,74	98,74	95,93	95,93	93,00	93,00
Total Operação	6 030,56	6 435,55	6 120,73	6 549,90	6 214,31	6 664,38
Total Investimento e Operação	7 936,86	8 746,46	7 991,21	8 851,00	8 046,48	8 951,91

Os custos por tonelada são bastante variáveis para a CC e DA, por causa da exponencial negativa nas funções de custos aproximados de instalações que foram apresentadas na Tabela 12-3, embora a CC custe sempre 40% menos. Por isso, quanto mais resíduo é tratado, mais baixo é o custo de operação, que diminui com o tempo e varia consoante o município.

Em Goiânia, por exemplo, a diferença entre os custos unitários de operação da CC e DA é inferior a R\$.t⁻¹ 40 (2040, para o CO). Neste município, a população está em crescimento e, também, gera cada vez mais resíduos *per capita*, diminuindo o custo unitário. Já em Hidrolândia, a DA é R\$.t⁻¹ 580 mais onerosa que a CC. Ao contrário, não só este município produzirá muito menos RU do que Goiânia, como a tendência para a população e a geração *per capita* aumentarem é muito menor (Tabela 12-9).

Tabela 12-9: Estimativa dos custos de operação por tonelada da compostagem comunitária e da digestão anaeróbia para o ano de 2040, para o cenário otimista.

	Compostagem comunitária (R\$.t ⁻¹)	Digestão anaeróbia (R\$.t ⁻¹)
Aparecida de Goiânia	63,4	153,9
Goiânia	26,0	63,2
Goianira	171,6	416,9
Hidrolândia	407,7	990,1
Senador Canedo	130,5	316,9
Trindade	166,8	405,0

O que mais onera os sistemas são os custos com a recolha e o transporte dos RU, entre 43,4% e 49,3% (depende do cenário e se o SGRU possui CC ou DA) dos custos totais dos sistemas ao longo dos 20 anos de projeto. Se forem considerados somente os custos de operação, a recolha e transporte dos RU representarão de 59% a 64,1% dos custos com a gestão destes resíduos, estando de acordo com os 60% encontrados no estudo de Carvalho et al. (2011).

Por ser um projeto sem fins lucrativos, considerou-se uma TIR de 0%, que cobrirá os custos ao longo da vida útil de projeto e garantirá futuros reinvestimentos. Desse modo, o objetivo foi equilibrar o valor da tarifa cobrada dos cidadãos, para obter um VAL positivo, com a menor tarifa possível (Barros, 2017). Assim, para quaisquer cenários e tecnologias escolhidas para tratar os biorresíduos nos seis municípios com maior porte populacional (CC ou DA), o RC dos valores gastos em todo o SGRU proposto ocorreria em 2040, conforme apresentado na Figura 12-6 (para o CO).

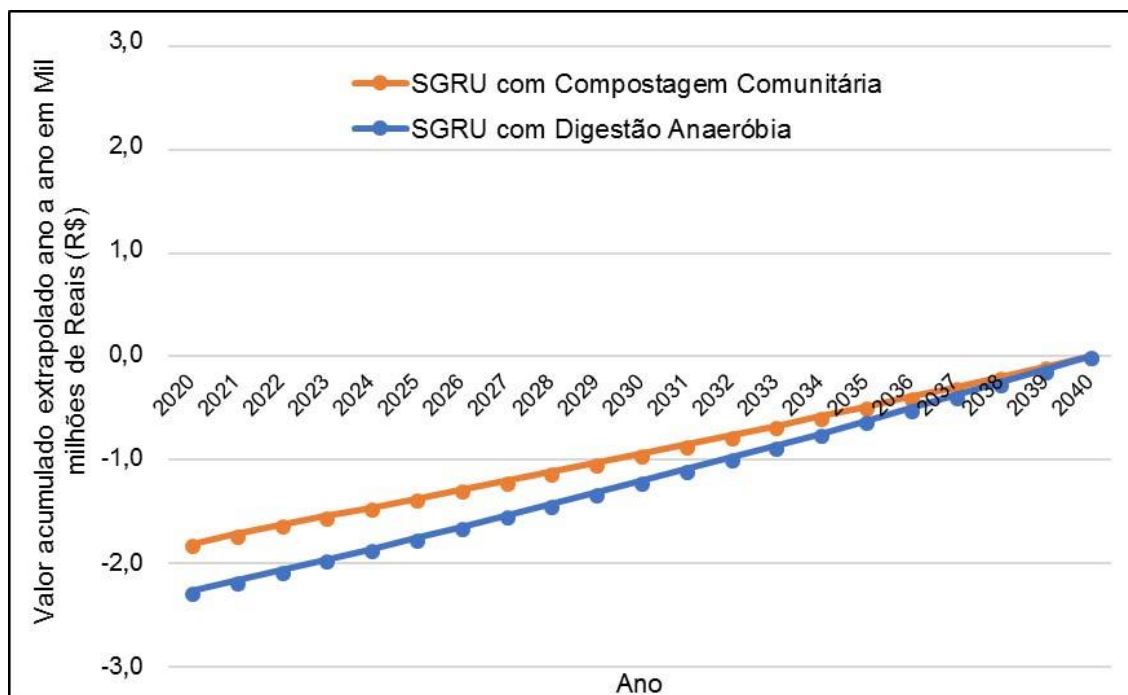


Figura 12-6: Valor acumulado extrapolado ao longo dos 20 anos de projeto, com a Taxa Interna de Rendibilidade (TIR) igual a 0% – cenário otimista.

Quanto às receitas dos sistemas, nos cenários com DA, haverá ganhos na ordem dos 12% aos 15% superiores aos mesmos cenários para o SGRU com CC (Tabela 12-10), devido ao biogás produzido. Além disso, os custos do SGRU com CC serão menores no *CP* do que no *CO*, porque se considerou que os compostos produzidos na CC serão doados para a população, não comercializados (a CC não gera receitas). Já para os SGRU com DA, as receitas aumentam no *CO* em relação ao *CP*, porque a venda de recicláveis e de energia elétrica proveniente do biogás produzido na DA será maior do que enviar esta fração de recicláveis e biorresíduos para a incineração para a produção energia elétrica.

Como a viabilidade econômica de um projeto é determinante para atrair capital e garantir rentabilidade aos investidores (Castro, 2017), realizou-se, também, análises econômicas com uma TMA de 6,5%, valor acima da média da inflação no Brasil nos últimos 10 anos e com uma TMA de 8%, conforme usada no estudo de Barros (2017).

O RC calculado é de cerca de 11 anos e 5 meses e de 10 anos e 2 meses para as TMA de 6,5% e 8%, respectivamente (Figuras F.1-3 e F.1-4 do Anexo F.1). Para uma TIR de 8%, estima-se que o VAL varie de R\$ 2 mil milhões (cenários com o SGRU com CC) a R\$ 2,56 mil milhões (cenários com o SGRU com DA) ao longo dos 20 anos de projeto (Tabela F.1-15 do Anexo F.1).

Tabela 12-10: Estimativa das receitas e dos custos do SGRU proposto, ao longo dos 20 anos de projeto, para os cenários pessimista, moderado e otimista – TIR 0% (extrapolados para 2020).

TIR 0%	Cenário Pessimista (CP)		Cenário Moderado (CMd)		Cenário Otimista (CO)	
	Compostagem comunitária	Digestão anaeróbia	Compostagem comunitária	Digestão anaeróbia	Compostagem comunitária	Digestão anaeróbia
	(Milhões·R\$)	(Milhões·R\$)	(Milhões·R\$)	(Milhões·R\$)	(Milhões·R\$)	(Milhões·R\$)
Receitas:						
Vendas	4 222,82	4 737,00	4 184,33	4 760,86	4 142,79	4 781,67
Tarifa RU	4 045,04	4 411,83	4 131,79	4 491,13	4 222,17	4 568,60
Custos:						
Operação	6 030,56	6 435,55	6 120,73	6 549,90	6 214,31	6 664,38
Investimento	1 906,30	2 310,91	1 870,48	2 301,11	1 832,18	2 287,54
VAL	≅ 0	≅ 0	≅ 0	≅ 0	≅ 0	≅ 0

12.3.5. Tarifas do SGRU proposto

Tal como no estudo de Fernández-González et al. (2017), a partir da diferença entre os custos e as receitas totais, obteve-se a tarifa mensal que será paga por cada habitante (e também por domicílio) para cada ano de projeto para uma TIR de 0%.

Salienta-se que os custos e as receitas e, consequentemente, a tarifa a ser paga pelo cidadão serão diferentes para cada município, que possuem distintos quantitativos de RU a ser tratados. Além disso, os custos da tecnologia utilizada para tratar os biorresíduos, as distâncias percorridas pelos resíduos (diretamente para a incineração ou via ET com veículo de recolha de maior capacidade), as receitas com a venda de energia elétrica e materiais recicláveis e a percentagem da população isenta de pagamento da tarifa de gestão irão variar para cada localidade.

Vale lembrar, ainda, que cada município tem famílias beneficiárias do PBF que estarão isentas do pagamento da tarifa de RU. Em 2015, 65 068 famílias dos 19 municípios estudados foram beneficiadas com o PBF. Com o número médio de habitantes por domicílio em cada município (IBGE, 2011), chegou-se à percentagem média de 9,2% da população total de cada município que se beneficia do PBF, e que não pagarão diretamente a tarifa de gestão dos RU. Sendo que a percentagem de beneficiários do PBF varia entre 6,4% (Goiânia) até 29,2% (Mairipotaba), conforme a Tabela F.1-16 do Anexo F.1. Adotou-se uma percentagem constante de beneficiários para cada município de 2021 a 2040.

Assim, comparando-se os custos para os diferentes cenários e fazendo-se uma análise da viabilidade económica entre um SGRU com CC ou com DA (caso dos seis municípios de maior porte populacional), obteve-se a tarifa a ser paga pela população. Conforme apresentado na Figura 12-7, cada habitante pagará entre R\$ 3,5 mês⁻¹ (município de Brazabrantes) e R\$ 7,0 mês⁻¹ (município de Hidrolândia com DA) no CO em 2021. Já

para o ano de 2040 (no mesmo cenário, Figura 12-8), cada habitante pagará entre R\$ 3,5·mês⁻¹ e R\$ 10,8·mês⁻¹ (novamente para Brazabrantes e Hidrolândia, respectivamente). Este aumento ocorre devido aos maiores quantitativos de RU a ser tratados, em 2040. Além disso, conforme as Figuras F.1-5, F.1-6, F.1-7 e F.1-8 do Anexo F.1 no *CP* e no *Cmd*, em que há menores desvios de RU, as tarifas para a população seriam menores em relação ao *CO*. Salienta-se que todos os valores a serem pagos pela população já estão extrapolados para 2020.

Como o rendimento nominal mensal domiciliar médio *per capita* dos municípios do Estado de Goiás em 2017 foi de R\$ 1 277,00 (R\$ 1 530,29, extrapolado para 2020) – IBGE (2017b), no município com a maior tarifa (Hidrolândia, *CO* em 2040) o tarifário estimado representará 0,7% do rendimento mensal de cada habitante.

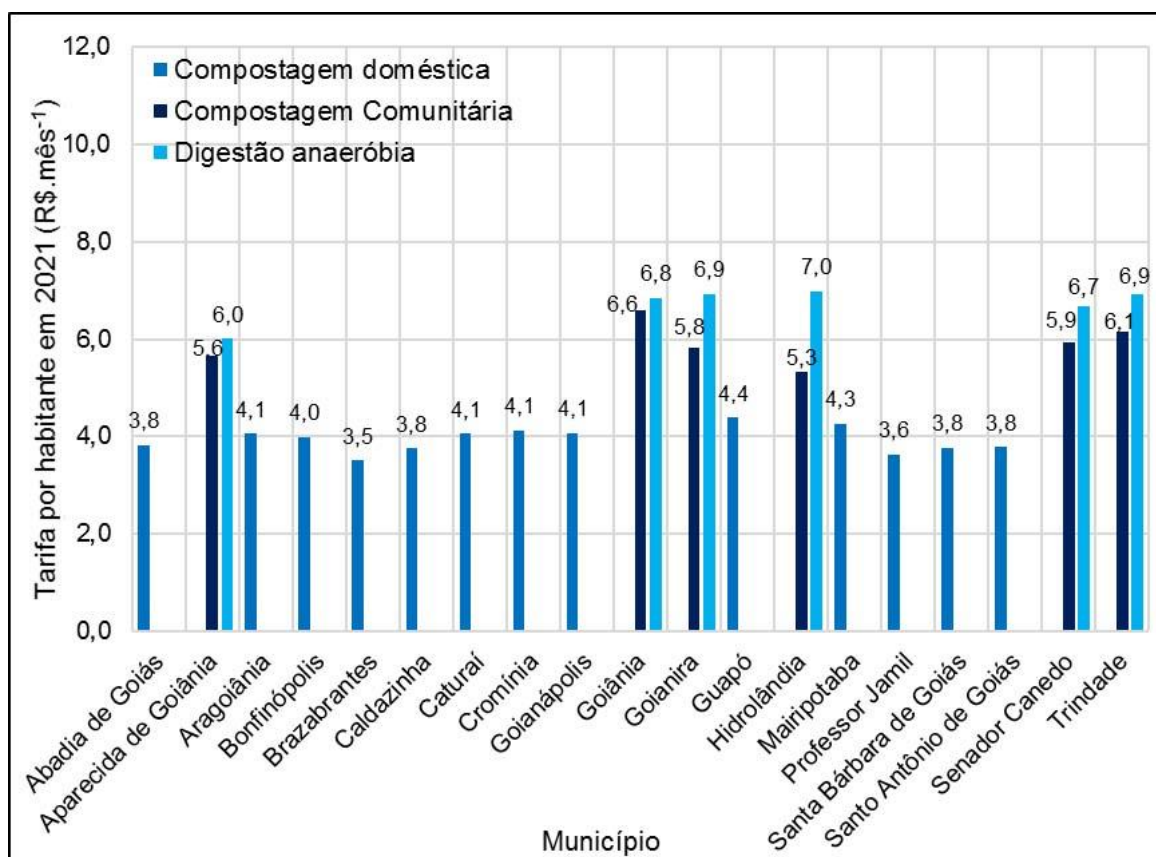


Figura 12-7: Custos mensais por habitante no ano de 2021 para cada um dos 19 municípios avaliados – cenário otimista (TIR 0%).

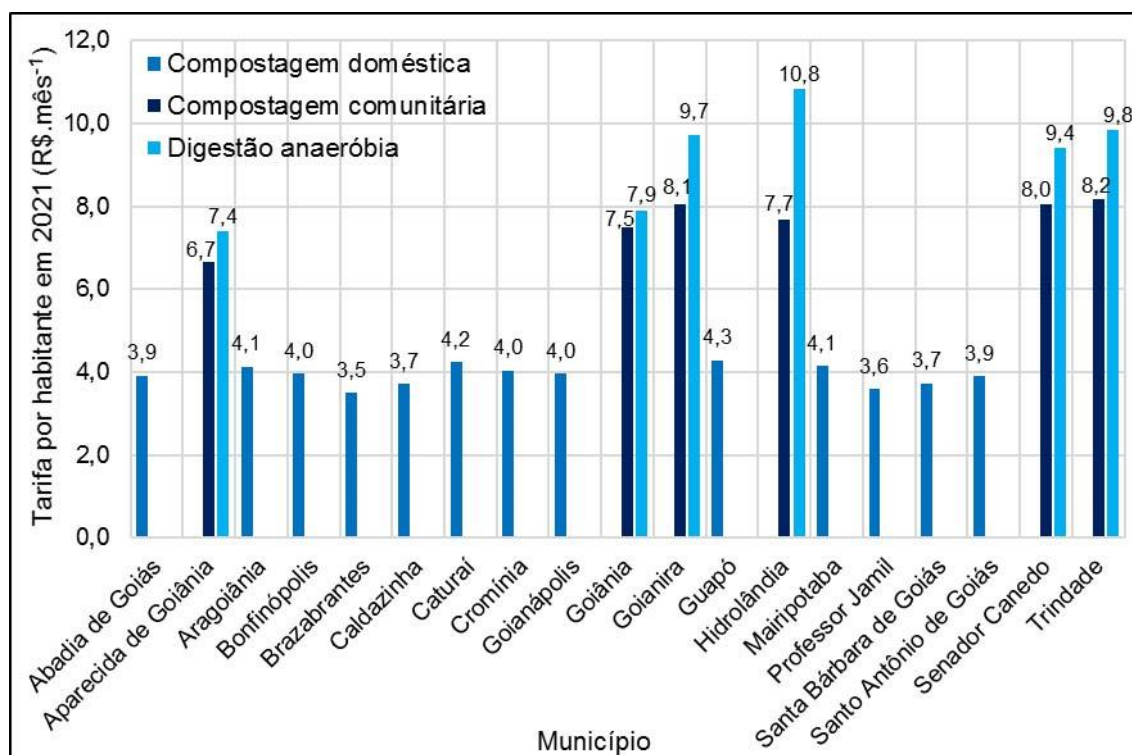


Figura 12-8: Custos mensais por habitante no ano de 2040 para cada um dos 19 municípios avaliados – cenário otimista (TIR 0%).

Portugal, por exemplo, possui dois sistemas de gestão que contam com unidade incineração de RU (APA, 2015), sendo que os valores mensais médios das tarifas de gestão de resíduos, em 2015, foi de 5,94 EUR por domicílio (ERSAR, 2016), equivalente a um valor médio de R\$ 34,13 domicílio⁻¹.mês⁻¹ (extrapolado para 2020). Considerando-se que nos 27 municípios atendidos pelos dois SGRU com incineração de Portugal Continental o número médio de habitantes por agregado familiar é 2,62 hab.domicílio⁻¹ (PORDATA, 2017), obtém-se o valor de R\$ 13,0 habitante⁻¹.mês⁻¹, 20,4% superior ao valor mensal médio estimado a ser pago pelos habitantes de Hidrolândia (município com a tarifa mais cara) em 2040 (para o CO).

Para as TIR de 6,5% e 8%, a tarifa mensal paga por habitante em cada um dos 19 municípios aumentará, pois as receitas com a venda de energia elétrica e de materiais recicláveis manter-se-ão as mesmas, independentemente do valor da TIR. Assim, para possibilitar uma TMA com percentagens que possam atrair possíveis investidores, é necessário que se aumente o preço da tarifa a ser cobrada da população.

Para a TIR de 6,5%, para o CO em 2040, por exemplo, os custos mensais para cada habitante irão variar de R\$ 5,1.mês⁻¹ a R\$ 16,2.mês⁻¹ (Figura 12-9). Sendo que os custos

do tarifário tornar-se-iam de 43% a 52% mais onerosos para a população comparado com a TIR de 0%. Já para uma TIR de 8% (Figura 12-10), também no *CO* em 2040, os custos mensais do tarifário por habitante iriam variar de R\$ 6,0 mês^{-1} a R\$ 17,4 mês^{-1} . Isso significa que as tarifas iriam aumentar entre 55% a 72% em comparação com a TIR de 0%. Contudo, se os tomadores de decisão optarem por um SGRU com CC em detrimento à DA, os preços mensais do tarifário, por habitante, mesmo no município com o valor mais alto (Trindade, que será de R\$ 12,7 $\text{habitante}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$), terá um tarifário mais baixo do que os praticados pelos dois SGRU portugueses que possuem incineração.

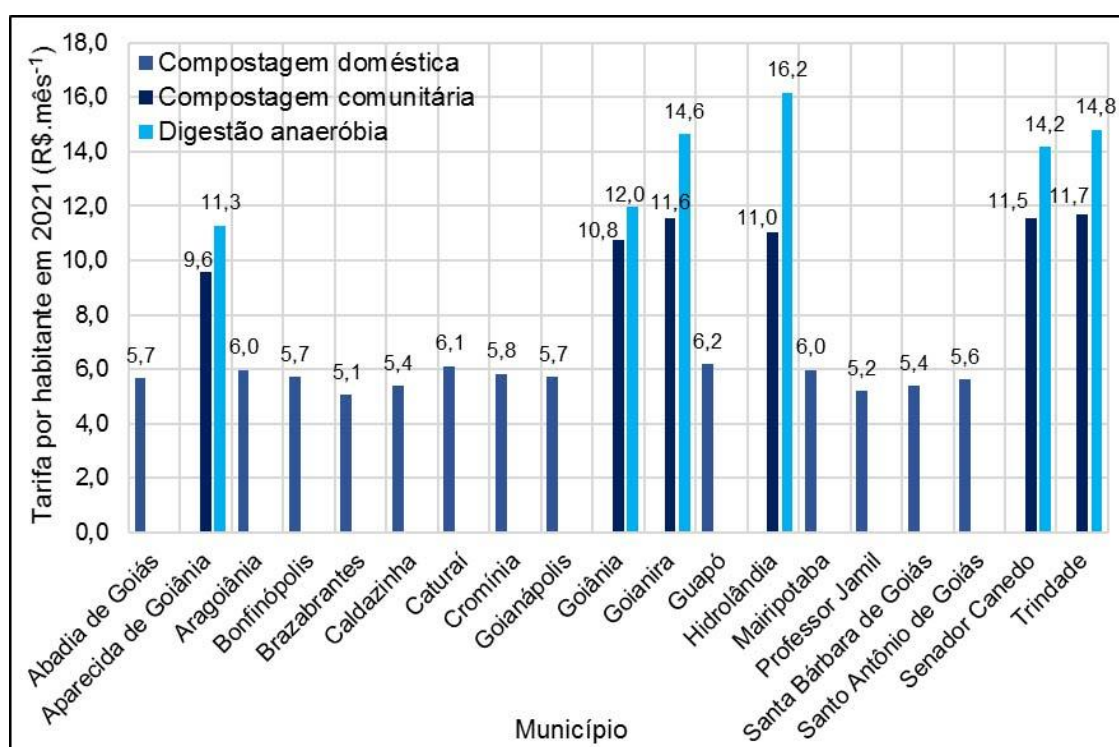


Figura 12-9: Custos mensais por habitante no ano de 2040 para cada um dos 19 municípios avaliados – cenário otimista (TIR 6,5%).

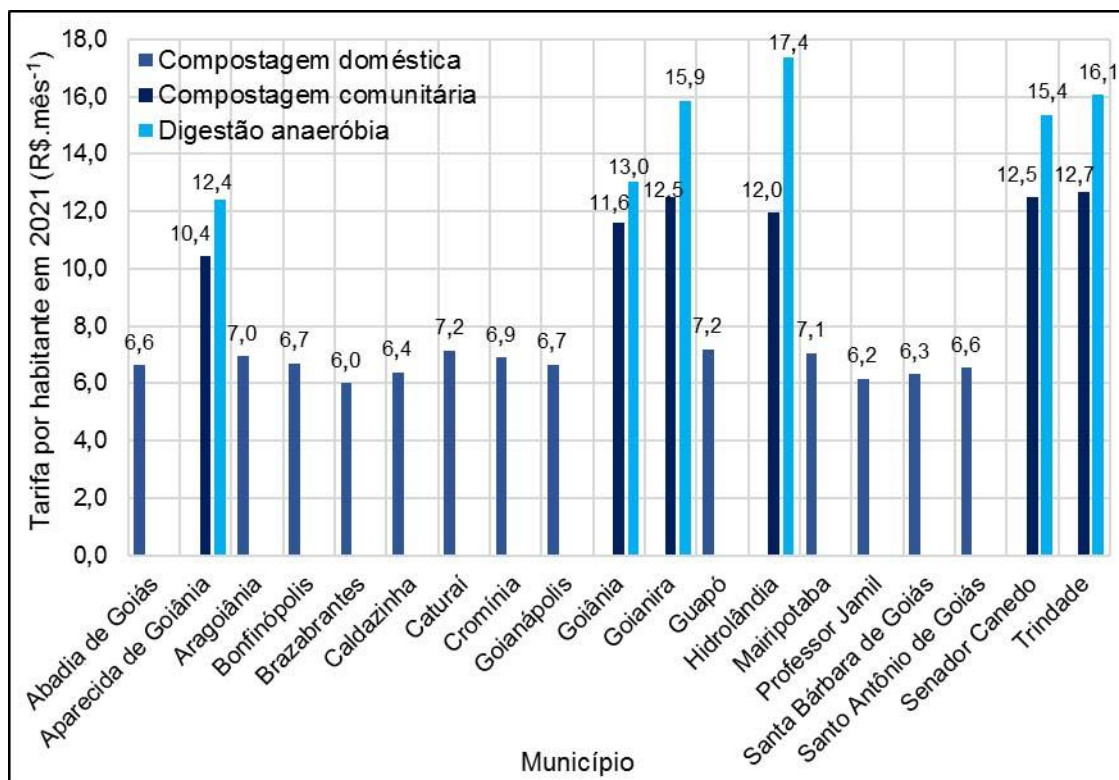


Figura 12-10: Custos mensais por habitante no ano de 2040 para cada um dos 19 municípios avaliados – cenário otimista (TIR 8%).

Calculou-se, também, o número total de *catadores* necessários para trabalhar nos centros de triagem em cada um dos 19 municípios entre 2021 e 2040, para os três cenários avaliados. No *CP*, com menores percentagens de desvios de RU, estima-se que nos 19 municípios serão necessários 2 388 *catadores* em 2021 e 4 111 *catadores* em 2040, um aumento de 72,2%. Já no *CO*, estima-se que todos os municípios precisarão de 2 530 *catadores* em 2021 e 4 505 *catadores* em 2040 o que representa, respetivamente, 6% a 9,6% *catadores* a mais no *CO* em comparação ao *CP* (para os anos de 2021 e 2040, respetivamente).

12.3.6. Análise de sensibilidade e incentivo à hierarquia de gestão dos resíduos

Incertezas em relação aos custos e receitas, assim como imprevistos durante a implantação e operação do SGRU proposto podem afetar a saúde financeira do projeto. Desse modo, decidiu-se por fazer uma análise de sensibilidade considerando-se um acréscimo de 10% nos custos de investimento e operação do projeto para uma TIR de 0%, em que não há uma reserva financeira.

Como as receitas permaneceriam as mesmas, o aumento de 10% nos custos de investimento e operação do projeto teria que ser compensado com o aumento da tarifa de gestão dos resíduos a ser cobrada da população (Tabela 12-11).

Tabela 12-11: Estimativa das receitas e dos custos do SGRU proposto, ao longo dos 20 anos de projeto, para os cenários pessimista, moderado e otimista – TIR 0% com 10% de acréscimo nos custos de investimento e operação (extrapolados para 2020).

TIR 0%	Cenário Pessimista (CP)		Cenário Moderado (CMD)		Cenário Otimista (CO)	
	Compostagem comunitária	Digestão anaeróbia	Compostagem comunitária	Digestão anaeróbia	Compostagem comunitária	Digestão anaeróbia
	(Milhões·R\$)	(Milhões·R\$)	(Milhões·R\$)	(Milhões·R\$)	(Milhões·R\$)	(Milhões·R\$)
Receitas:						
Vendas	4 222,82	4 737,00	4 184,33	4 760,86	4 142,79	4 781,68
Tarifa RU	4 871,70	5 326,79	4 963,58	5 416,31	5 058,80	5 504,08
Custos:						
Operação	6 633,61	7 079,10	6 732,80	7 204,89	6 835,74	7 330,81
Investimento	2 097,11	2 542,18	2 057,70	2 531,39	2 015,56	2 516,45
VAL	≅ 0	≅ 0	≅ 0	≅ 0	≅ 0	≅ 0

Os resultados apontam que este acréscimo nos custos, em comparação com a TIR de 0% (sem quaisquer acréscimos), elevaria em média, cerca de 20% no tarifário da população. Conforme a Figura 12-11, no CO, os custos mensais do tarifário, por habitante, iriam variar de R\$ 4,2 mês⁻¹, a R\$ 13,2 mês⁻¹.

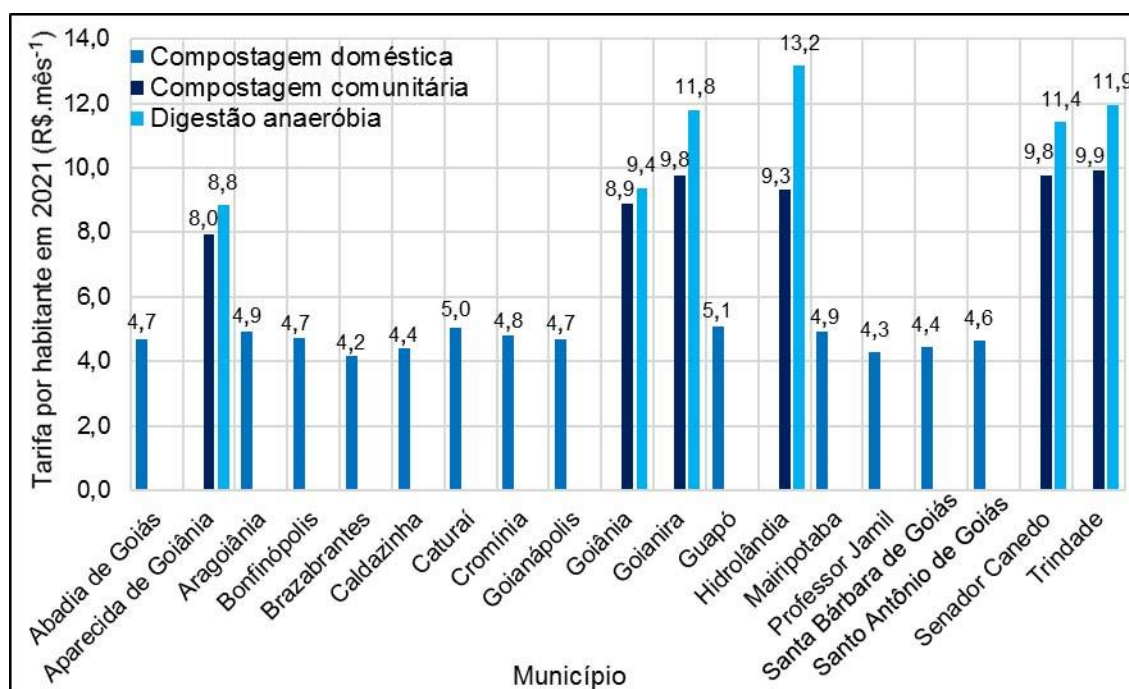


Figura 12-11: Custos mensais por habitante no ano de 2040 para cada um dos 19 municípios – cenário otimista (TIR 0% com 10% de acréscimo nos custos).

Os resultados da análise económica, independentemente da TIR, apontam que os custos dos cenários com maiores desvios de RU (*CMd* e *CO*) são sempre superiores aos custos para o *CP*. Consequentemente, poderia haver um movimento que iria contra a hierarquia de gestão dos resíduos, que estabelece como prioridade a prevenção, redução, preparação para a reutilização e a reciclagem em detrimento da valorização através da incineração ou eliminação em aterro (Brasil, 2010, Ministério do Ambiente, 2011).

Diante desta situação, simulou-se ainda uma situação em que imposto sobre o rendimento, que é cobrado pelo Estado, iria variar consoante ao cumprimento das metas de desvios e evolução dos cenários. Esta variação teria um efeito similar à taxa de gestão de resíduos (TGR), que está prevista, por exemplo, no Decreto-Lei 73/2011 de Portugal (Ministério do Ambiente, 2011), que visa auxiliar na melhoria do comportamento dos operadores dos sistemas de gestão de RU e da população, para garantir a redução na produção de resíduos e uma gestão mais eficiente (APA, 2018).

O imposto sobre rendimento previsto para todos os cenários é de 15% ao ano. Para que os custos diminuam mais no *CO* do que no *CMd* e *CP*, alterou-se o imposto sobre receitas para: 5% no *CO*, 20% no *CMd* e 25% no *CP*. Assim, ao desonerar parte do imposto, caso as metas para o *CO* sejam atingidas, significará que o Estado incentiva os operadores e a população a desviarem o maior quantitativo possível de materiais recicláveis e de biorresíduos. Para atender completamente a hierarquia de gestão dos resíduos, esta desoneração poderia estar vinculada também à redução dos quantitativos de RU tratados, e não somente às metas de desvios.

Os preços dos tarifários mensais para os seis municípios de maior porte populacional, considerando-se compostagem comunitária, estão apresentados na Figura 12-12. No *CO*, por exemplo, a tarifa iria variar de R\$ 6,3 $\text{mês}^{-1} \cdot \text{habitante}^{-1}$ a R\$ 7,7 $\text{mês}^{-1} \cdot \text{habitante}^{-1}$, dependendo do município em questão. Estas tarifas seriam mais baixas do que as apresentadas para o *CP* e o *CMd*.

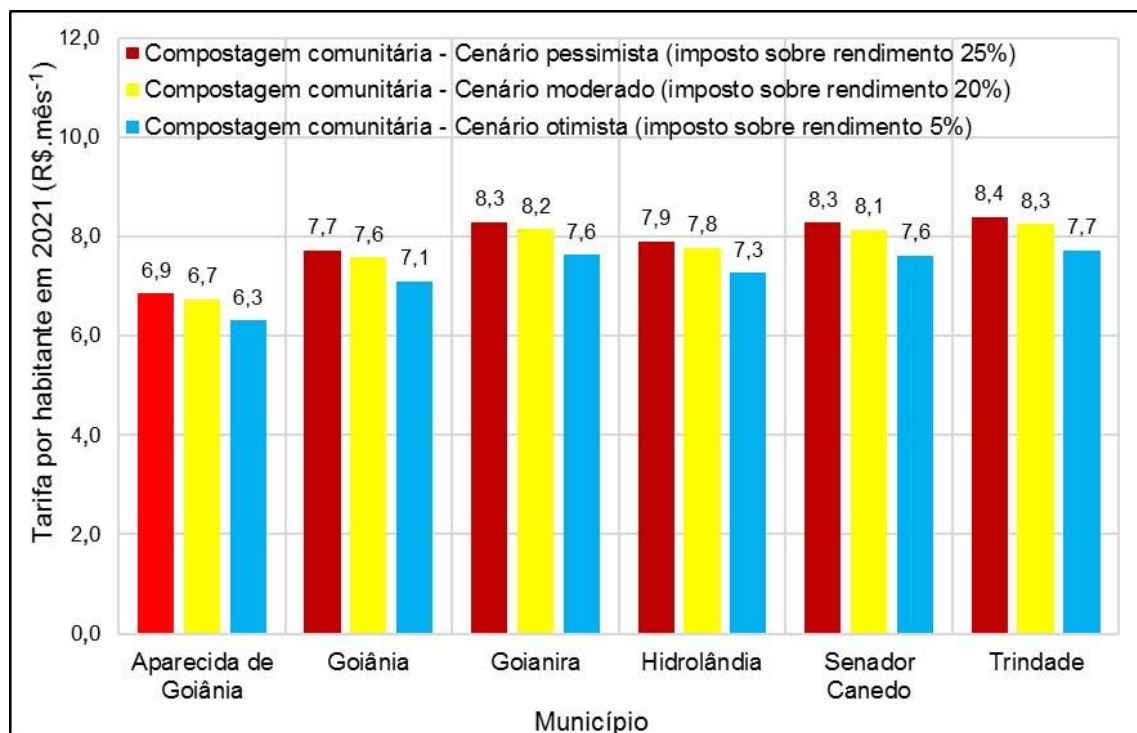


Figura 12-12: Custos mensais por habitante no ano de 2040 para os seis municípios com compostagem comunitária no SGRU proposto (TIR 0%).

12.3.7. Forma de cobrança do tarifário à população

De acordo com a análise estatística realizada a partir da regressão linear (usando a correlação de *Pearson*), entre a geração *per capita* de RU e o consumo médio *per capita* de água, obteve-se um valor de r de -0,30191, que indica uma correlação negativa moderada entre as variáveis, sendo que, o p é igual a 0,2233, o que indica que a variável consumo médio *per capita* de água é não significativa em relação à geração *per capita* de RU. Já para a correlação entre a geração *per capita* de RU e o consumo médio *per capita* de energia elétrica obteve-se o valor de r 0,78617, que segundo Marôco (2014) representa uma correlação positiva muito forte entre as variáveis.

O p igual a 0,0001 indica que a variável consumo médio *per capita* de energia elétrica é significativa em relação à geração *per capita* de RU. Contudo, salienta-se que, apesar de haver uma correlação muito forte entre as variáveis, isso não traduz uma relação de causalidade entre estas variáveis. De qualquer modo, a partir dos valores de r , a sugestão é que a cobrança da parte variável da tarifa dos resíduos seja feita vinculada à tarifa de energia elétrica.

12.4. Considerações finais

Este estudo apresentou uma análise económica de um SGRU partilhado proposto para 19 municípios que se situam junto à Goiânia, capital do Estado de Goiás. Definiu-se que o SGRU terá um sistema de incineração em Aparecida de Goiânia e o aterro no município vizinho, Hidrolândia. Sendo que o sistema de deposição final de RU não será em Aparecida de Goiânia, que terá a incineração, pois 98,5% da área deste município é restrita para a instalação de aterros.

Quanto aos custos totais do projeto, o *CO* com o SGRU com a *DA*, custará R\$ 8,95 mil milhões ao longo dos 20 anos de projeto, cerca de 13% mais que o *CP* com *CC* (o mais barato independentemente do cenário). O que mais onera os sistemas são os custos com a recolha e o transporte dos RU, que representam de 59% a 64,1% dos gastos totais. Diante disso, a iniciativa de descentralizar as operações de tratamento dos RU até ao nível dos municípios, aliada à identificação de uma área o mais central possível para a instalação da incineração, minimizará os custos com o transporte de RU.

Referente às receitas do projeto, nos cenários com *DA*, os ganhos são até 15% superiores aos mesmos cenários em que o SGRU possui *CC*. Além disso, mesmo sem fins lucrativos, o projeto paga-se dentro dos 20 anos, enquanto que para a *TIR* de 6,5% e de 8%, o *RC* ocorrerá em pouco mais de 11 anos e 10 anos, respetivamente.

Salienta-se que uma *TIR* de 0% representa menores tarifas de gestão dos resíduos a ser paga pelos cidadãos. Enquanto que nesta *TIR*, no *CO* em 2040, os tarifários irão variar entre R\$.3,5 habitante⁻¹.mês⁻¹ e R\$.10,8 habitante⁻¹.mês⁻¹, para uma *TIR* de 8%, as tarifas irão variar de R\$.6,0.habitante⁻¹.mês⁻¹ a R\$.17,4.habitante⁻¹.mês⁻¹. Como estas tarifas mais elevadas são para os casos em que o SGRU contempla municípios com *DA*, a alternativa para atrair investidores (*TIR* de 8%), sem sobrecarregar o cidadão, pode ser implantar SGRU com *CC*. Neste caso, as tarifas máximas mensais (em 2040, *CO*) não passariam de cerca de R\$.12,7.habitante⁻¹.mês⁻¹ para os municípios com maiores tarifas, o que é inferior a R\$.13,0.habitante⁻¹.mês⁻¹, valor médio cobrado dos cidadãos atendidos pelos dois SGRU com incineração existentes em Portugal Continental.

Em relação à forma de cobrança da fração variável da tarifa de RU, identificou-se uma correlação negativa moderada entre a geração *per capita* de RU e o consumo médio *per capita* de água. A variável consumo médio *per capita* de água é não significativa em relação à geração *per capita* de RU. Contudo, há uma correlação positiva muito forte entre

a geração *per capita* de RU e o consumo médio *per capita* de energia elétrica, ou seja, pode-se vincular a tarifa de RU à fatura da energia elétrica.

Finalmente, este estudo pode servir de modelo para que outros municípios que se situam em regiões metropolitana, assim como pode auxiliar os decisores públicos dos municípios goianos a estabelecerem uma estratégia para a gestão dos seus RU.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Brasil. O 1º autor, Diogo Appel Colvero, é investigador do CNPq, Processo n.º 207172/2014-5.

Referências bibliográficas

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR 8.419: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997). NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro.
- Abramovay, R., Speranza, J. S., & Petitgand, C. (2013). *Lixo Zero: gestão de resíduos sólidos para uma sociedade mais próspera*. São Paulo: Planeta sustentável: Instituto Ethos.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2013). Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos.
- Abreu, A. E. S., Gandolfo, O. C. B., & Vilar, O. M. (2016). Characterizing a Brazilian sanitary landfill using geophysical seismic techniques. *Waste Manag.* 53, 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.048>
- Alfaia, R. G. de S. M., Costa, A. M., & Campos, J. C. (2017). Municipal solid waste in Brazil: A review. *Waste Manag. Res.* 0734242X1773537. <https://doi.org/10.1177/0734242X17735375>
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. (2018). CEL: Resultados leilões 2005 a 2017 [WWW Document]. URL http://www.aneel.gov.br/busca?p_p_id=buscaaneel_WAR_buscaaneelportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_buscaaneel_WAR_buscaaneelportlet_tipoBusca=false&_buscaaneel_WAR_buscaaneelportlet_dataInicioDt=01/01/2018&_buscaaneel_WAR_buscaan (accessed 3.15.18).
- Anjos, A. F. dos. (2009). A dinâmica intraurbana de Goianira no contexto da região metropolitana de Goiânia (Master's thesis). Universidade Federal de Goiás.
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente. (2015). Relatório anual de resíduos urbanos 2015 - fichas individuais por SGRU.

- APA – Agência Portuguesa do Ambiente. (2018). Taxa de Gestão de Resíduos (TGR) [WWW Document]. URL <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=1118>
- Barros, L. V. L. de. (2017). Viabilidade da implantação consorciada para a gestão de resíduos sólidos na região metropolitana de Florianópolis (RMF). Universidade Federal do Paraná.
- BCB – Banco Central do Brasil. (2017). Conversão de moedas [WWW Document]. URL <http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/conversao.asp>
- Bernstad Saraiva, A., Souza, R. G., & Valle, R. A. B. (2017). Comparative lifecycle assessment of alternatives for waste management in Rio de Janeiro – Investigating the influence of an attributional or consequential approach. *Waste Management*, 68, 701–710. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.002>
- Berton, J. (2016). Estudo de caso da cidade de Campo Largo para a valoração e aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos. Universidade Federal do Paraná.
- Bezerra, M. M. (2012). Estação de transferência como alternativa de otimização logística na destinação final de resíduos sólidos. Faculdade de Tecnologia da Zona Leste.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2012). Produto 7: Relatório final sobre as principais rotas tecnológicas de destinação de resíduos sólidos urbanos no Exterior e no Brasil. Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Jaboaão dos Guararapes.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2013). Produto 11: Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Jaboaão dos Guararapes.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2014). Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Jaboaão dos Guararapes.
- Brasil. Lei n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007. (2007). Brasília, DF: Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei n.º 6.528, de 11 de maio de 1978. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm
- Brasil. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. (2010). Brasília, DF: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm
- Brasil. Lei n.º 12.725, de 16 de outubro. (2012). Brasília, DF, Brasil: Dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12725.htm
- Bridi, E. (2008). Resíduos sólidos urbanos - uma proposta para otimização dos serviços de coleta e da disposição final (Master's thesis). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.

- Brogaard, L. K., & Christensen, T. H. (2016). Life cycle assessment of capital goods in waste management systems. *Waste Manag.* 56, 561–574.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.07.037>
- Butto, S., Trindade, C., Sado, I., & Kileber, S. (2014). Diretrizes para construção de tarifas para serviços de manejo de resíduos sólidos, in: XI Seminário Nacional de Resíduos Sólidos - Desafios Para a Implantação Da Política Nacional. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Brasília, DF, Brasil, pp. 1–15.
- Carvalho, J. L. V. de. (2013). Estimativa energética e recuperação de metano a partir dos RSU pelo processo de digestão anaeróbia e poder calorífico: estudo de caso Barreiras-BA. Universidade Federal da Bahia.
- Carvalho, J., Matos, M. A., & Gomes, P. (2011). Anexo 5: Custos de Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos. FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia - projecto FCOMP-01/0124/FEDER/007040 Aveiro: Universidade de Aveiro. Retrieved from http://www.ua.pt/ii/ocupacao_dispersa
- Castro, J. V. de. (2017). Viabilidade de um Investimento na Fileira do Pinheiro Manso (*Pinus pinea* L.). Instituto Politécnico de Coimbra.
- Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., & Sánchez, A. (2018). Composting of food wastes: Status and challenges. *Bioresour. Technol.* 248, 57–67.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.133>
- Chen, Y.-C., & Lo, S.-L. (2016). Evaluation of greenhouse gas emissions for several municipal solid waste management strategies. *J. Clean. Prod.* 113, 606–612.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.058>
- Cherubini, F., Bargigli, S., & Ulgiati, S. (2009). Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy* 34, 2116–2123. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.08.023>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. (2017a). Definição dos municípios sede dos sistemas de gestão de resíduos urbanos no Estado de Goiás, Brasil, in: 10th International Technical Waste Conference. APESB – Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto, Portugal.
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. (2017b). Municipal solid waste in Goiás (Brazil): current scenario and projections for the future. *Journal of Sedimentary Environments.* 2(3), 236–249.
<https://doi.org/10.12957/jse.2017.31131>
- Colvero, D. A., Pfeiffer, S. C., & Carvalho, E. H. de. (2016). Materiais recicláveis provindos dos resíduos urbanos: caso de estudo para o estado de Goiás, Brasil. In P. J. Ramísio, G. A. Lopes, L. M. C. Pinto, F. Leite, & M. J. Rosa (Eds.), *A Engenharia Sanitária nas Cidades do Futuro: Livro de Comunicações do 17.o Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental/ENASB* (pp. 713–720). Lisboa.
- Colvero, D. A., Pfeiffer, S. C., Carvalho, E. H. de, & Gomes, A. P. D. (2017). Avaliação da geração de resíduos sólidos urbanos no Estado de Goiás, Brasil: análise estatística de dados. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – RESA*, 22(51), 931-941.
<https://doi.org/10.1590/S1413-41522017159448>

- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2010). Resolução CONAMA no 428/2010, de 17 de dezembro. Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC).
- D’Almeida, M. L. O., & Vilhena, A. (2000). Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado, Livroilus. ed. São Paulo, SP, Brasil.
- EC – European Commission. (2000). Exemplos de compostagem e de recolhas selectivas bem sucedidas. Bruxelles.
- EC – European Commission. (2008). *European Parliament and Council. Directive 2008/98/EC of 22 november 2008 on waste and repealing certain Directives*. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=PT>
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. (2008). Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. Brasília, DF, Brasil.
- ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. (2016). Dados e indicadores do ciclo de avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores relativos a 2015 [WWW Document]. ERSAR. URL <http://www.ersar.pt/pt/setor/factos-e-numeros/dados-de-base>
- EU – European Union. (2018). *European Parliament and of the Council. Directive 2018/851/EC of 30 may 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste*. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=PT>
- FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente, & Engebio Engenharia S/S Ltda. (2010). Estudo do estado da arte e análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica no estado de Minas Gerais - Relatório 1. Belo Horizonte, MG, Brasil.
- FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. (2012). Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos: Guia de orientações para governos municipais de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Fernández-González, J. M., Grindlay, A. L., Serrano-Bernardo, F., Rodríguez-Rojas, M. I., & Zamorano, M. (2017). Economic and environmental review of Waste-to-Energy systems for municipal solid waste management in medium and small municipalities. *Waste Manag.* 67, 360–374. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.003>
- Ferreira, W. A. de A., & Ferreira, N. C. (2014). Seleção Preliminar de áreas para instalação de aterros sanitários na região metropolitana de Goiânia, in: Anais Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. Poços de Caldas/MG.
- FIEG – Federação das Indústrias do Estado de Goiás. (2015). Pólos industriais do Estado de Goiás - Aparecida de Goiânia. Goiânia/GO. Retrieved from https://issuu.com/sistemafieg/docs/polo_industrial_aparecida
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics*, 4a ed. SAGE, London.
- Figueiredo, F. F. (2012). O desenvolvimento da indústria da reciclagem dos materiais no Brasil: Motivação econômica ou benefício ambiental conseguido com a atividade?

- Revista Electrónica de Geografía Y Ciencias Sociales, 16(387). Retrieved from <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-387.htm>
- Franco, D., Castilhos Júnior., A. B. de, & Souza, K. da S. de. (2014). Estudo da relação entre a geração de resíduos sólidos domiciliares e o consumo de água e energia elétrica: alternativas de tarifação da coleta de resíduos sólidos. *Rev. Bras. Gestão e Desenvolv. Reg.* 10, 201–224.
- Gbanie, S. P., Tengbe, P. B., Momoh, J. S., Medo, J., & Kabba, V. T. S. (2013). Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. *Appl. Geogr.* 36, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.06.013>
- Gómez, A., Zubizarreta, J., Rodrigues, M., Dopazo, C., & Fueyo, N. (2010). Potential and cost of electricity generation from human and animal waste in Spain. *Renew. Energy* 35, 498–505. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.027>
- Gorsevski, P. V., Donevska, K. R., Mitrovski, C. D., & Frizado, J. P. (2012). Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average. *Waste Manag.* 32, 287–296. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.023>
- Grimberg, E., & Blauth, P. (1998). Coleta seletiva de lixo: reciclando materiais, reciclando valores, Pólis.
- Gueri, M. V. D., Souza, S. N. M. de, & Kuczman, O. (2018). Parâmetros operacionais do processo de digestão anaeróbia de resíduos alimentares: uma revisão. *Biofix Sci. J.* 3, 17–25.
- Gujarati, D. N., & Porter, D.C. (2011). *Econometria básica*, 5a ed. AMGH, Porto Alegre.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2011). Censo demográfico brasileiro 2010 – Média de moradores por domicílio. Brasília, DF.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2016). Cidades@Goiás [WWW Document]. URL <http://cod.ibge.gov.br/1V4> (accessed 5.4.16).
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017a). Indicadores IBGE - Sistema Nacional de Índices de Preços ao Consumidor IPCA e INPC. Setembro/2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017b). Brasil/Goiás - Panorama [WWW Document].
- IMB – Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. (2014). Regiões de planejamento 2013 – Estado de Goiás. Retrieved May 23, 2017, from <http://www.imb.go.gov.br/down/regplan2013.pdf>
- IMB – Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. (2017). Estatísticas municipais – Séries históricas [WWW Document]. URL <http://www.imb.go.gov.br> (accessed 5.18.17).
- Larsen, A. W., Vrgoc, M., Christensen, T. H., & Lieberknecht, P. (2009). Diesel consumption in waste collection and transport and its environmental significance. *Waste Manag Res* 27, 652–659. <https://doi.org/10.1177/0734242X08097636>
- Lauria, I. O. (2012). Pólos empresariais como agente de desenvolvimento regional em áreas públicas do município de Aparecida de Goiânia, in: I Seminário de

- Desenvolvimento Regional, Estado E Sociedade: Abordagens E Experiências. SDRES, Rio de Janeiro, pp. 1–15.
- Lavee, D., & Nardiya, S. (2013). A cost evaluation method for transferring municipalities to solid waste source-separated system. *Waste Manag.* 33, 1064–1072. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.026>
- Lima, J. D. de. (2015). Elementos de matemática financeira - demonstrações, implementações e aplicações (Thesis). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, Brasil.
- Lima, P. D. M., Colvero, D. A., Gomes, A. P., Wenzel, H., Schalch, V., & Cimpanb, C. (2018). Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil. *Waste Management*, (78), 857–870. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.007>
- Lombardi, L., & Carnevale, E. A. (2016). Analysis of an innovative process for landfill gas quality improvement. *Energy* 109, 1107–1117. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.071>
- Malinauskaitė, J., Jouhara, H., Czajczyńska, D., Stanchev, P., Katsou, E., Rostkowski, P., Thorne, R. J., Colón, J., Ponsá, S., Al-Mansour, F., Anguilano, L., Krzyżyńska, R., López, I. C., Vlasopoulos, A., & Spencer, N. (2017). Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy* 141, 2013–2044. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.128>
- Marôco, J. (2014). Análise estatística com o SPSS statistics, 6a ed. Gráfica Manuel, Barbosa & Filhos, Pêro Pinheiro.
- Marques, J. I. P. (2015). Estudo da eficiência do modelo de recolha de resíduos urbanos indiferenciados no concelho de Penacova. Universidade de Coimbra.
- Martins, L. O. S., Silva, L. T., Carneiro, R. A. F., & Velame, J. L. (2016). Análise da viabilidade econômica e financeira da implantação de usina de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos no município de Santo Antônio de Jesus – BA. *Rev. Livre Sustentabilidade e Empreendedorismo* 1, 152–176.
- Matos, M. A. A. de, & Pereira, F. J. M. A. (2005). Tratamento e eliminação termoquímica de resíduos. Plataforma *e-learning* da Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal.
- Matos, M. A., Gomes, A. P., Tarelho, L. A., Nunes, M. I., Teixeira, C. A., & Fonseca, A. S. (2012). Urban waste management recyclables model based on carbon footprint, in: 1st International AFRICA Sustainable Waste Management Conference. Lobito, Angola, pp. 1–10.
- MDS – Ministério do Desenvolvimento Social. (2015). Bolsa Família - Pagamento por Município em Outubro/2015. Brasília, DF, Brasil.
- Melo, D. A. de, Vinciguerra, M., Carmo, C. B. do, & Bolognani, A. A. (2016). Residência resíduo zero: experiências do projeto piloto em Goiânia.
- Merli, R., Preziosi, M., & Acampora, A. (2018). How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. *J. Clean. Prod.* 178, 703–722. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.112>

- Merrild, H., Larsen, A. W., & Christensen, T. H. (2012). Assessing recycling versus incineration of key materials in municipal waste: The importance of efficient energy recovery and transport distances. *Waste Manag.* 32, 1009–1018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.12.025>
- Ministério do Ambiente. Decreto-Lei no 73/2011, de 17 de junho (2011). Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Retrieved from https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/DL_73_2011_DQR.pdf
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2012a). Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PLANARES. Brasil.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2012b). Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação. Apoiando a implementação da política nacional de resíduos sólidos: do nacional ao local. Brasília, DF.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2015). Portaria Interministerial no 60, de 24 de março. Estabelece procedimentos administrativos em processos de licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.
- Nascimento, J. C. F. do. (2007). Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos. Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.18.2007.tde-10082007-132150>
- Netto, C. R. B., & Santos, H. I. (2012). Avaliação da Operação do Aterro Sanitário de Catalão – Goiás. Univ. Católica Goiás. Pontifícia Universidade Católica de Goiás - PUC/GO.
- NURSOL/UFG – Núcleo de Resíduos Sólidos e Líquidos da Universidade Federal de Goiás. (2015). Plano de resíduos sólidos do estado de Goiás - Produto final (Produto 10). Goiânia/GO.
- Oliveira, M. A. de, & Gonçalves, N. da S. (2015). Estudo comparativo entre o aterro sanitário de Samambaia x lixão da Estrutural. Universidade Católica de Brasília.
- Oliveira, R. C. R. (2010). Os serviços públicos e o código de defesa do consumidor (CDC): limites e possibilidades. *Rev. Eletrônica Direito Adm. - REDAE* 22.
- Pavan, M. D. C. O. (2010). Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil. Universidade de São Paulo.
- Pereira, C. D., Franco, D., & Castilhos Júnior, A. B. de. (2013). Implantação de Estação de Transferência de Resíduos Sólidos Urbanos utilizando Tecnologia SIG. *Rev. Bras. Ciências Ambient.* 27, 71–84.
- Pinheiro, R. V. N., Scalize, P. S., Sanz, G., Ferreira, N. C., Ramos, A. C. B., & Albuquerque, A., (2015). Avaliação da vulnerabilidade das bacias de captação devido a presença de lixões no Estado de Goiás, Brasil, in: Russo, M.A.T., Vilarinho, C., Lopes, G.A., Caetano, N. (Eds.), *Book of Extended Abstracts of the Congress Challenges on Waste in a Circular Economy: 9.th International Technical Conference on Waste 2015*. Lisboa, pp. 142–151.

- Poletto Filho, J.A., & Poletto, G. C. (2017). Incineração com recuperação energética, uma alternativa para a destinação correta do resíduo sólido urbano. *Rev. Eletrônica Grad. - Regr.* - do UNIVEM 10, 402–417.
- PORDATA – Base de Dados Portugal Contemporâneo. (2017). Número médio de pessoas residentes nos alojamentos familiares clássicos de residência habitual segundo os Censos [WWW Document]. Fundação Fr. Man. dos Santos.
- Reichert, G. A. (2013). Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre (Doctoral dissertation). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Romero, V., Marcuzzo, F. F. N., & Cardoso, M. R. D. (2014). Tendência do número de dias de chuva no Estado do Tocantins e a relação dos seus extremos com o índice oceânico Niño. *Bol. Geogr.* 32, 1. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v32i1.18235>
- Rosa, B. P., Paula, B. C. de D. L., Coleone, E. S. do A., & Campos, F. (2017). Impactos causados em cursos d' água por aterros controlados desativados no Município de São Paulo, Sudeste do Brasil. *Rev. Bras. Gestão Ambient. e Sustentabilidade* 4, 63–76.
- Rossi, C. da R. (2014). Potencial de recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos na região da AMESC. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Rothenberger, S., Zurbrugg, C., Enayetullah, I., & Sinha, A. H. M. M. (2006). *Decentralised Composting for Cities of Low- and Middle- Income Countries.*
- Russo, M. A. T. (2003). Tratamento de resíduos sólidos. Universidade de Coimbra.
- Sanches, E. G., Tosta, G. A. M., & Souza-Filho, J. J. (2013). Viabilidade econômica da produção de formas jovens de *Bijupirá (Rachycentron canadum)*. *Bol. do Inst. Pesca* 39, 15–26.
- SECIMA/GO – Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. (2015). Nota técnica – aterros sanitários. Goiânia, GO, Brasil, Brasil.
- Seelig, M. F., & Schneider, P. S. (2012). Estimating the energy content of municipal solid waste from its physical composition: the heat of combustion of Porto Alegre's household solid waste, in: 14th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. pp. 14–18.
- SEGPLAN – Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento, & SEPIN – Superintendência de Estatística Pesquisa e Informações Socioeconômicas. (2011). Dinâmica populacional de Goiás: uma análise do Censo 2010 do IBGE. Goiânia.
- SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás. Resolução n.º 005/2014 – CEMAm, de 26 de fevereiro. (2014). Goiânia/GO: Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental dos projetos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, na modalidade aterro sanitário, nos municípios do Estado de Goiás.
- SEPLAN – Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento do Estado de Goiás. (2010). Perfil Competitivo das Regiões de Planejamento do Estado de Goiás. Goiânia.

- Sharholly, M., Ahmad, K., Mahmood, G., & Trivedi, R. C. (2008). Municipal solid waste management in Indian cities - A review. *Waste Manag.* 28, 459–467. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.008>
- SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. (2015). SIG – Shapefiles.
- Silva, L. C., Roza, B. C., & Rathmann, R. (2012). Gestão de resíduos sólidos urbanos na cidade do Porto (Portugal): um exemplo de prática sustentável? *Rev. Gestão Soc. e Ambient.* 6, 60–78. <https://doi.org/10.5773/rgsa.v6i2.372>
- SNSA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. (2016). Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2014. Brasília, DF, Brasil. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- SNSA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. (2018). Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2016. Brasília, DF, Brasil.
- Soares, I., Moreira, J., Pinho, C., & Couto, J. (2012). *Decisões de Investimento – Análise Financeira de Projetos*, 3a edição. ed. Impressão e acabamentos: Cafilesa – Soluções Gráficas, Lda., Lisboa, Portugal.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1993). *Integrated solid waste management - Engineering principles and management issues*. New York: McGraw-Hill.
- Tsilemou, K., & Panagiotakopoulos, D. (2006). Approximate cost functions for solid waste treatment facilities. *Waste Manag. Res.* 24, 310–322. <https://doi.org/10.1177/0734242X06066343>
- US EPA – United States Environmental Protection Agency. (2002). *Waste Transfer Stations: a manual for decision-making*. Washington.
- Vázquez, M. A., & Soto, M. (2017). The efficiency of home composting programmes and compost quality. *Waste Manag.* 64, 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.022>
- Vergara, S. E., Damgaard, A., & Gomez, D. (2016). The Efficiency of Informality: Quantifying Greenhouse Gas Reductions from Informal Recycling in Bogotá, Colombia. *J. Ind. Ecol.* 20, 107–119. <https://doi.org/10.1111/jiec.12257>
- Wilson, D. C., Rodic, L., Scheinberg, A., & Alabaster, G. (2010). Comparative analysis of solid waste management in cities around the world. *Proc. Waste 2010 Waste Resour. Manag. - Putt. Strateg. into Pract.* 28–29.
- Woon, K. S., & Lo, I. M. C. (2016). A proposed framework of food waste collection and recycling for renewable biogas fuel production in Hong Kong. *Waste Manag.* 47, 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.022>
- Zhao, Q.-B., Ma, J., Zeb, I., Yu, L., Chen, S., Zheng, Y.-M., & Frear, C. (2015). Ammonia recovery from anaerobic digester effluent through direct aeration. *Chem. Eng. J.* 31–37. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2015.04.113>

13. Avaliação do ciclo de vida de um sistema partilhado de gestão de resíduos urbanos para uma região metropolitana

Resumo: No Brasil existem regiões metropolitanas com grandes adensamentos populacionais, reflexo do grande fluxo migratório que ocorreu no país a partir da década de 1970. Entre as consequências destes grandes quantitativos populacionais nas áreas urbanas dos municípios brasileiros está o aumento da geração *per capita* de resíduos urbanos (RU), que na maioria dos casos, vem associado à deficitária gestão dos RU. É o caso de 19 municípios do Estado de Goiás, em que 73% dos RU produzidos tem destino inadequado. De acordo com a Lei brasileira n.º 12305/2010, para minimizar os impactos ambientais, os municípios brasileiros devem implementar um sistema de gestão de RU (SGRU) com valorização e desvio de RU dos aterros. Diante disso, utilizando-se uma ferramenta de avaliação do ciclo de vida (ACV), realizou-se uma avaliação ambiental de diferentes alternativas para um SGRU partilhado entre 19 municípios de Goiás que se situam em uma região metropolitana. Os resultados apontaram que o cenário atual (CA) da gestão dos RU nestes municípios tem os maiores impactos ambientais em sete das 12 categorias de impacto avaliadas, dentre elas o potencial de aquecimento global. No CA, o processo com maior impacto ambiental é a deposição final de RU. Em contrapartida, o SGRU que contempla a digestão anaeróbia e que tem o maior desvio de resíduos dos aterros, tem as menores emissões ao ambiente em oito das categorias de impacto analisadas. A redução dos impactos ambientais evidenciam a importância dos SGRU atenderem as metas de desvios de RU dos aterros estabelecidas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Destaca-se ainda que, a utilização da metodologia ACV para comparar os impactos ambientais entre o atual modelo de gestão de RU e modelos alternativos, permite aos decisores municipais fazer as suas opções de gestão de resíduos de uma forma mais consciente em matéria ambiental.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida (ACV); resíduos urbanos (RU); gestão partilhada de RU; desvios de aterros; Brasil.

13.1. Introdução

O crescimento da população mundial e as migrações para áreas urbanas indicam a tendência de que, até 2025, dois terços da população mundial viverá em cidades

(Troschinetz & Mihelcic, 2009). No Brasil, segundo dados de 2010, ano do último censo oficial do país, havia cerca de 84% da população a viver em áreas urbanas (IBGE, 2010).

Este fluxo migratório da população brasileira das áreas rurais para as cidades, principalmente a partir dos anos 1970 (Rezende, 2011), ocasionou em áreas urbanas com grandes quantitativos populacionais, assim como aumentou a geração *per capita* resíduos urbanos (RU) e o crescimento dos quantitativos de RU produzidos a ser encaminhados para a gestão municipal. Aliado a estes fatores está a gestão inadequada destes resíduos, que deu origem a danos ambientais muito significativos (Abramovay, Speranza, & Petitgand, 2013; Bernstad Saraiva, Souza, & Valle, 2017; Lavee & Nardiya, 2013).

Verifica-se a situação supracitada na área que serve de objeto a este estudo, e que corresponde a 19 municípios que se situam em uma zona metropolitana do Estado de Goiás, Brasil (Figura 13-1), que em 2015 possuíam em torno de 364 hab. \cdot km⁻², a produzir mais de 2,1 mil t \cdot dia⁻¹ de RU (Colvero, Gomes, Tarelho, & Matos, 2017; IBGE, 2016; SIEG, 2015). Segundo SECIMA/GO (2015) e SEMARH/GO (2013), 12 destes 19 municípios possuem lixeiras, três possuem aterros não licenciados e somente quatro contam com aterros licenciados para a deposição final dos RU. Além disso, 11 municípios não possuem recolha de materiais recicláveis, e não há referências à recolha diferenciada de biorresíduos.

Considerando o total de RU produzidos nos municípios avaliados, 69,3% são encaminhados para aterros não licenciados, 24,5% para aterros licenciados, 2,6% para lixeiras, 2,8% triagem e 0,8% não são recolhidos (Colvero et al., 2017). Este panorama da gestão dos RU, em que praticamente todos os resíduos recolhidos são enviados para sistemas de deposição final, é semelhante ao que ocorre nos demais estados brasileiros, que utilizam aterros e lixeiras para encaminhar quase que exclusivamente todos os RU recolhidos (Alfaia, Costa, & Campos, 2017).

Apesar da gestão dos RU estar concentrada sobretudo na eliminação de resíduos em sistemas de deposição final não licenciados, a Lei brasileira n.º 12305 – conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Brasil, 2010), sugere o emprego de tecnologias com valorização de RU, deixando o aterro apenas para receber os refugos de outros sistemas de tratamento de resíduos.

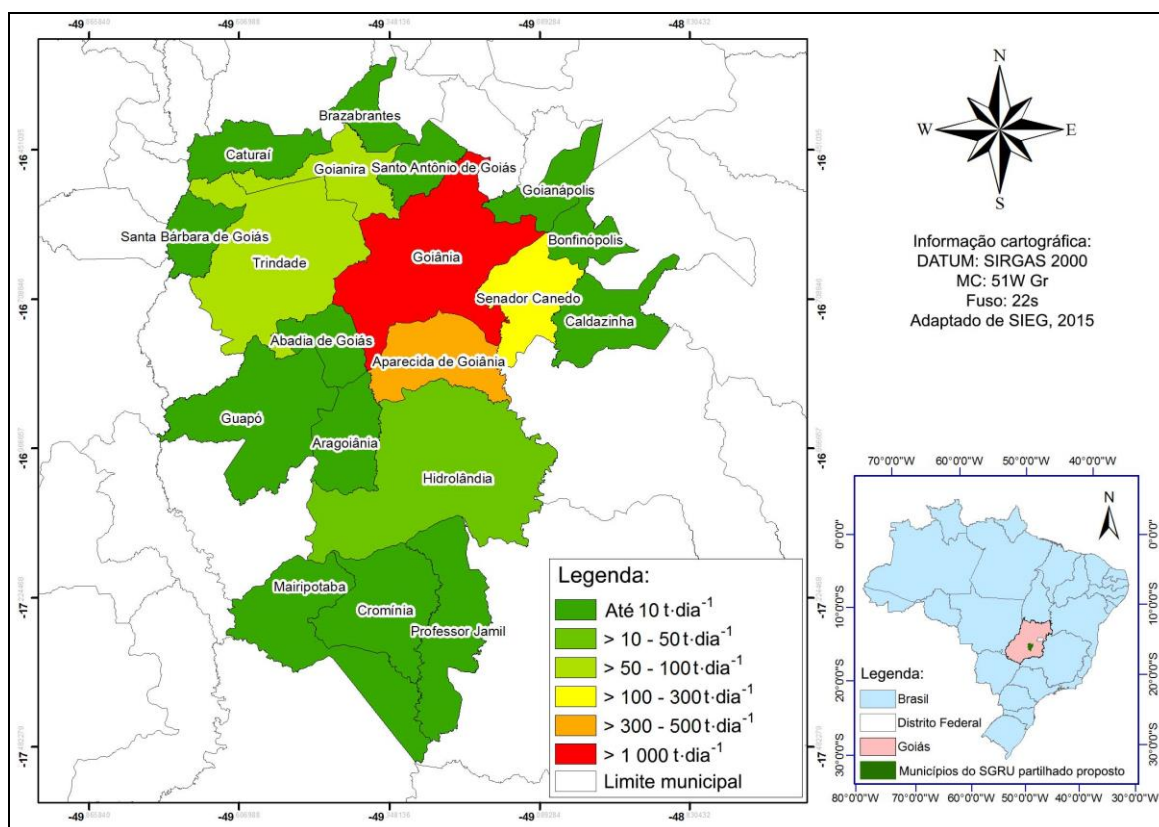


Figura 13-1: Produção de RU em 2015 nos 19 municípios do SGRU proposto.

Este trabalho tem foco numa avaliação ambiental de alternativas de gestão de RU para a área em estudo, uma vez que existem diferentes processos técnicos que podem ser escolhidos para atender a PNRS. A redução dos impactos ambientais como resultado da implantação de modelos de gestão focados no desvio de RU de aterros, pode ser determinado a partir de uma avaliação do ciclo de vida – ACV (Bernstad Saraiva et al., 2017). Para Cherubini, Bargigli, & Ulgiati (2009), a ACV é uma importante ferramenta de apoio à decisão em projetos de sistemas de gestão de resíduos urbanos (SGRU). A ACV é um método estruturado e padronizado internacionalmente que possibilita que sejam quantificadas as emissões relevantes para a atmosfera, para a água e para o solo; o consumo de recursos; e o cálculo dos impactos ambientais e os efeitos na saúde (EC, 2010).

Assim, utilizando-se uma ACV, o objetivo deste estudo foi avaliar o impacto ambiental de diferentes alternativas de um SGRU partilhado entre 19 municípios do Estado de Goiás. Esta avaliação compara os impactos ambientais do cenário atual (CA) da gestão dos RU com três cenários futuros para o SGRU proposto (Figura 13-1).

13.2. *Materiais e métodos*

O Estado de Goiás é dividido em 18 microrregiões, que são agrupamentos que visam delinear e executar projetos e atividades que sejam de interesse comum, assim como validar estudos que visem instalar infraestruturas em regiões metropolitanas ou outros aglomerados populacionais, como é o caso de um SGRU (Brasil, 1988; IMB, 2014a).

Os 19 municípios estudados estão distribuídos em quatro microrregiões: 13 na *Metropolitana de Goiânia (MGyn)*, três na *Meia Ponte*, dois na *Anápolis* e um na *Anicuns* (IMB, 2014a). De acordo com a classificação da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA (2016), 14 municípios estão na faixa populacional de até 30 mil habitantes e apenas um município possui mais de 1 milhão de habitantes (IBGE, 2016).

13.2.1. O atual modelo de gestão e a produção de RU nos municípios avaliados

Nos 19 municípios do SGRU proposto foram identificados três diferentes sistemas de deposição final de RU:

- Lixeira: processo em que são utilizados terrenos desocupados, normalmente na periferia dos centros urbanos, para a deposição de RU no solo, a céu aberto, sem qualquer tratamento prévio, critérios técnicos ou medidas de proteção do ambiente e da saúde da população, ou controle do quantitativo de resíduos depositados. Além disso, é um grande atrativo de vetores de doenças, como insetos, ratos e aves (Garcia et al., 2015; Nascimento, 2007; Rosa, Paula, Coleone, & Campos, 2017).

- Aterro não licenciado (ou aterro controlado): processo em que os RU estão, normalmente, confinados em uma área cercada para evitar o acesso e a circulação de animais e pessoas. A deposição destes resíduos é feita em uma vala com ou sem impermeabilização de base, assim como pode ou não ter o tratamento do lixiviado. Para evitar a proliferação de vetores de doenças e conter a percolação das águas pluviais, os RU são cobertos com resíduos de construção e demolição ou com terra. Este método de deposição de RU é uma fase intermediária entre o aterro licenciado e a lixeira (Garcia et al., 2015; Netto & Santos, 2012; Oliveira & Gonçalves, 2015).

- Aterro licenciado: sistema de processos no qual se utiliza técnicas de engenharia para confinar os RU, que são compactados para que fiquem com o menor volume permissível e, consequentemente, ocupem a menor área possível. Neste método, o intuito é realizar a deposição final dos RU de modo a minimizar os impactos ao ambiente e proteger a saúde humana (ABNT, 1992; Garcia et al., 2015).

O atual modelo de gestão dos RU nos municípios avaliados, os quantitativos de RU produzidos em 2015 e os destinos destes resíduos estão apresentados na Figura 13-2. Dos 19 municípios avaliados, que estão situados na microrregião *MGyn* e em microrregiões vizinhas, os maiores produtores de RU são os municípios de Goiânia (capital do Estado de Goiás) e seu município vizinho Aparecida de Goiânia.

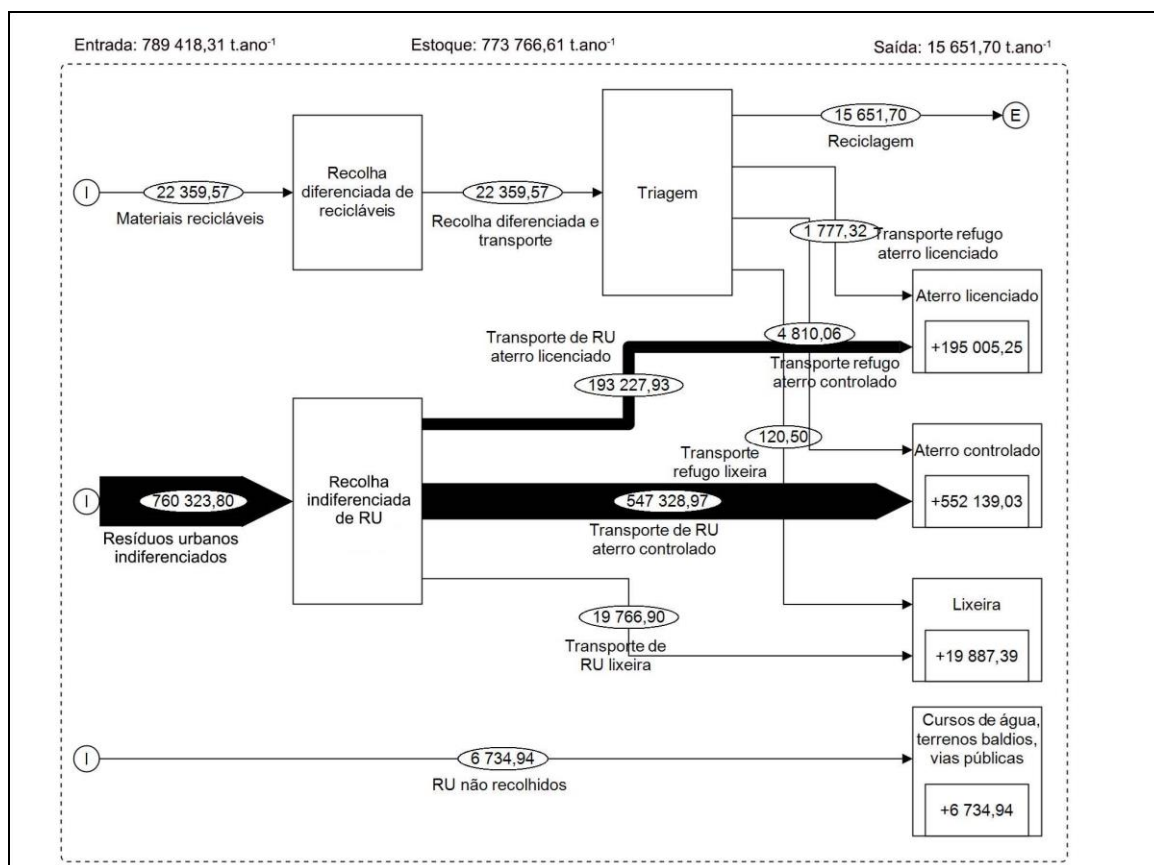


Figura 13-2: Modelo de gestão atual de RU nos 19 municípios avaliados – produção de RU em 2015.

De acordo com Colvero, Gomes, Tarelho, Matos, & Santos (2018), somente em dois municípios (Guapó e Professor Jamil) os sistemas de deposição final de RU estão localizados em áreas livres para a instalação e operação de aterros (Tabela 13-1). Contudo, ambos os municípios possuem lixeiras ao invés de aterro licenciado. Já os aterros licenciados (situados nos municípios de Aparecida de Goiânia, Bonfinópolis, Hidrolândia e Senador Canedo) estão situados em áreas restritas para a construção de aterros.

Tabela 13-1: Panorama dos RU em 2015 para os 19 municípios do Estado de Goiás que integram o SGRU proposto.

Municípios	Deposição final de RU	Área da deposição final de RU	Estimativa	Percentagem	RU recicláveis	RU direta-	RU diretamente
			Produção RU 2015	de RU recolhido	recolhidos de forma diferenciada	mente em aterro licenciado	em lixeira/aterro não licenciado ou não recolhidos
			t·dia ⁻¹	%	t·dia ⁻¹	t·dia ⁻¹	t·dia ⁻¹
Abadia de Goiás	1 LX*	SA**	4,0	89,4	0,1	---	3,9
Aparecida de Goiânia	1 AL*	Restrita	465,1	99,5	14,0	448,6	2,6
Aragoiânia	1 LX*	Restrita	4,9	87,8	0,0	---	4,9
Bonfinópolis	1 AL*	Restrita	4,4	92,8	0,1	4,0	0,3
Brazabrantes	1 LX*	Restrita	1,6	84,2	0,0	---	1,6
Caldazinha	1 LX	Restrita	1,7	72,5	0,0	---	1,7
Caturai	1 ANL*	Restrita	2,4	80,4	0,1	---	2,3
Cromínia	1 LX*	Restrita	1,7	78,3	0,0	---	1,7
Goianápolis	1 LX*	SA**	5,8	95,2	0,0	---	5,8
Goiânia	1 ANL*	Restrita	1 461,9	99,8	43,9	---	1 418,0
Goianira	1 LX	SA**	24,8	97,0	0,7	---	24,0
Guapó	1 LX *	Livre	7,9	84,2	0,2	---	7,7
Hidrolândia	1 AL*	Restrita	11,3	75,4	0,0	8,5	2,8
Mairipotaba	2 LX *	Restrita	1,1	75,0	0,0	---	1,1
Professor Jamil	1 LX*	Livre	1,6	72,8	0,0	---	1,6
Santa Bárbara de Goiás	1 LX*	Restrita	3,1	93,6	0,0	---	3,1
Santo Antônio de Goiás	1 LX*	Restrita	2,7	92,9	0,0	---	2,7
Senador Canedo	1 AL*	Restrita	71,5	98,5	2,1	68,3	1,0
Trindade	1 LX e 1 ANL*	Restrita	85,5	96,4	0,0	---	85,5
Total	21		2 162,8		61,3	529,4	1 572,1

*AL – Aterro licenciado; ANL – Aterro não licenciado; LX – Lixeira; **SA – Sujeita a aprovação.

Fonte: Adaptado de SECIMA/GO (2015), Colvero et al. (2017) e IMB (2014b).

13.2.2. Modelo de gestão proposto e o município-sede do SGRU partilhado

O SGRU proposto como alternativa ao *status quo* foi definido de acordo com a produção de RU e será composto por um modelo de gestão baseado em BNDES (2014): recolha indiferenciada, recolha diferenciada de resíduos recicláveis secos, recolha diferenciada de biorresíduos, estação de transferência (ET), transporte, triagem, compostagem doméstica (CD), compostagem comunitária (CC) ou digestão anaeróbia (DA), incineração e aterro. Este modelo de SGRU procura respeitar a PNRS, que estabelece que os fluxos dos sistemas devem priorizar a hierarquia de gestão dos resíduos

(Brasil, 2010). Além disso, os recursos devem permanecer na economia o maior tempo possível (Merli, Preziosi, & Acampora, 2018), utilizando os sistemas de eliminação de RU apenas para descartar os rejeitos dos tratamentos a montante (Malinauskaite et al., 2017).

A partir do quantitativo de RU e o papel na eficiência de recuperação destes resíduos, foi dada especial atenção ao tratamento dos biorresíduos. Para isso, foram consideradas três tecnologias de gestão, cuja escolha depende do quantitativo de biorresíduos a ser tratado.

- Compostagem doméstica (CD): será utilizada naqueles municípios que, entre 2021 e 2040, irão tratar até 2 000 t·ano⁻¹ de biorresíduos. Esta tecnologia será empregue em 13 dos 19 municípios (Tabela G.1-1 do Anexo G.1).

- Compostagem comunitária (CC) ou digestão anaeróbia (DA): atenderá os seis municípios que, entre 2021 e 2040, irão tratar quantitativos superiores a 2 000 t·ano⁻¹ de biorresíduos (Tsilemou & Panagiotakopoulos, 2006). Neste estudo, comparou-se qual destas tecnologias de tratamento de biorresíduos traz mais benefícios ambientais para os municípios: CC ou DA.

Os sistemas de valorização de materiais que visam a economia circular (triagem, compostagem e DA) situar-se-ão nos próprios municípios, ou seja, estarão descentralizados. Já as operações que receberão os rejeitos dos sistemas de tratamento e os RU indiferenciados, estarão centralizadas, ou seja, a incineração e o aterro atenderão aos 19 municípios. O modelo de gestão que englobará cada município está apresentado na Tabela G.1-1 do Anexo G.1.

Caberá a cada município definir os lugares para instalação das tecnologias de tratamento de RU locais (triagem, CC ou DA), ou seja, descentralizadas. Já as localizações de todas as infraestruturas centralizadas (ET, incineração e aterro) foram definidas neste estudo, visando assim assegurar o Princípio da Autossuficiência e Proximidade da Diretiva 2008/98/EC (EC, 2008), ou seja, garantir que a ET, a incineração e o aterro estejam situados o mais próximo possível do centro gerador de RU, minimizando-se assim, os custos com o transporte destes resíduos.

Para isso, utilizou-se a geometria das massas, metodologia que possibilitou que fosse definido o município-sede (MS) da unidade de incineração para SGRU proposto. A partir do quantitativo de RU produzido em cada município e das coordenadas dos centros urbanos destes municípios (Colvero et al., 2017; SIEG, 2015), obteve-se o centro de massa

(CM) dos 19 municípios avaliados. Para minimizar os gastos com o transporte de RU, o sistema de incineração estará o mais próximo possível do CM.

Assim, de acordo com estudos de Pereira, Franco, & Castilhos (2013) e Russo (2003), o CM dos 19 municípios foi obtido a partir das Equações 13-1 e 13-2.

$$y = \frac{\sum (y_i \cdot P_i)}{\sum P_i} \text{ (Equação 13-1)}$$

$$x = \frac{\sum (x_i \cdot P_i)}{\sum P_i} \text{ (Equação 13-2)}$$

Em que:

x – longitude; y – latitude; x_i e y_i – coordenadas geográficas dos centros urbanos (em coordenadas UTM); P_i – produção média diária de RU de cada município (em t·dia⁻¹).

Para distâncias entre os centros urbanos de cada município e a incineração inferiores a 25 km, o resíduo será transportado diretamente à unidade de incineração por veículos de recolha (Chen & Lo, 2016; FEAM & Engebio, 2010). Enquanto que, para distâncias superiores a 25 km, a recolha dos RU deverá ser centralizada numa ET, donde estes resíduos serão encaminhados para a incineração através de um veículo de transporte de longa distância. Definiu-se esta distância limite porque, de acordo com US EPA (2002), 25 km é o ponto de viragem, em que é mais viável economicamente centralizar a recolha para uma ET e depois enviar para o local de tratamento dos RU. Destaca-se ainda que as ET estarão, no máximo, a 100 km da unidade de incineração (FEAM & Engebio, 2010).

Além disso, definiu-se uma possível área para instalação do aterro, que receberá as cinzas e escórias da incineração. O aterro situar-se-á o mais próximo da incineração, numa área sem restrições para a instalação de sistemas de deposição final de RU (Colvero et al., 2018).

13.2.3. Metas de desvios de RU de aterro e a proposição de cenários

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), os municípios goianos devem propor SGRU que atendam as metas de desvios de biorresíduos e de resíduos recicláveis (Tabela 13-2) sobre o total de RU produzidos (MMA, 2012a).

Os municípios avaliados neste estudo não atingiram sequer as metas de desvios de RU dos aterros (do PLANARES) para 2015. Independentemente desta situação, optou-se por criar diferentes cenários com as referidas metas, para que sejam estabelecidas possíveis situações para o futuro, permitindo assim visualizar os resultados a serem atingidos em cada cenário (Reichert, 2013).

Tabela 13-2: Metas de desvio de resíduos urbanos dispostos em aterro no Estado de Goiás.

Meta	Plano de metas de desvios dos aterros				
	2015 (%)	2019 (%)	2023 (%)	2027 (%)	2031 (%)
Redução da percentagem de resíduos recicláveis secos depositados em aterro	13	15	18	21	25
Redução da percentagem de biorresíduos depositados em aterro	15	25	35	45	50

Fonte: Adaptado de MMA (2012a).

A partir das metas de desvios de RU do PLANARES, e de acordo com Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA, 2012b), foram formulados três cenários futuros para um horizonte de 20 anos, entre 2021 (ano de início das operações dos sistemas) e 2040 (último ano da vida útil do SGRU proposto). Entretanto, as metas de desvios deverão ser atingidas até 2031, ano da última meta do PLANARES. Considerou-se que entre 2031 e 2040 os sistemas atingirão a estabilidade, por isso, as percentagens de desvios serão as mesmas obtidas em 2031.

Os três cenários avaliados estão apresentados a seguir:

- Cenário pessimista (*CP*): neste cenário, o crescimento linear dos desvios de RU do aterro será mais lento. Assim, estimou-se que as metas estabelecidas no PLANARES serão parcialmente atingidas, reflexo das dificuldades inerentes à implantação e início das operações de um novo SGRU. O intuito é alcançar em 2023 e 2031 as metas de desvios de RU de aterros previstas no PLANARES, respetivamente, para 2015 e 2027 (MMA, 2015). De qualquer modo, em comparação com o panorama atual da gestão dos RU nos municípios avaliados, atingir estas metas significa um importante avanço na gestão dos RU;

- Cenário moderado (*CMd*): neste cenário, o crescimento linear das percentagens de desvios de RU será maior em comparação ao *CP*. Entretanto, as metas de desvios estabelecidas no PLANARES ainda não serão plenamente atingidas. Para 2023 a meta é atingir as metas previstas para 2019, enquanto que para 2031 estimou-se alcançar uma taxa de desvio intermédia entre as metas de 2027 e 2031 (obtida a partir da média das metas de desvios para estes dois anos).

- Cenário otimista (*CO*): neste cenário, o SGRU proposto para os 19 municípios avaliados terá uma operação a pleno, com uma ampla participação da população nos desvios de materiais recicláveis e biorresíduos. Assim, em 2023 e 2031, serão atingidas as metas de desvios de RU de aterro estabelecidas no PLANARES para estes mesmos anos.

Cada um dos três cenários (*CP*, *CMd* e *CO*) serão avaliados para duas situações para os biorresíduos: com CC ou com DA. Esta situação ocorrerá nos seis municípios com maior produção de RU, que serão comparados entre si. Deste modo, serão apresentados os impactos ambientais obtidos no CA e para seis possíveis cenários (Tabela 13-3).

Tabela 13-3: Cenários em que foi realizada uma ACV.

Cenário	Descrição do cenário
Cenário Atual: CA	Dos RU produzidos: 2,8% vão para triagem; 24,5% vão para aterro licenciado; 69,3% vão para aterro controlado; 3,4% vão para lixeira ou não são recolhidos. Não há recolha de biorresíduos.
Cenários Pessimista: CP–CC e CP–DA	Em 2023, desvio de 13% de resíduos recicláveis e 15% de biorresíduos e em 2031 a 2040, desvio de 21% de resíduos recicláveis e 45% de biorresíduos.
Cenários Moderado: CMd–CC e CMd–DA	Em 2023, desvio de 15% de resíduos recicláveis e 25% de biorresíduos e em 2031 a 2040, desvio de 23% de resíduos recicláveis e 47,5% de biorresíduos.
Cenários Otimista: CO–CC e CO–DA	Em 2023, desvio de 18% de resíduos recicláveis e 35% de biorresíduos e em 2031 a 2040, desvio de 25% de resíduos recicláveis e 50% de biorresíduos.
CP–CC: Cenário pessimista–compostagem comunitária; CP–DA: Cenário pessimista–digestão anaeróbia. CMd–CC: Cenário moderado–compostagem comunitária; CMd–DA: Cenário moderado–digestão anaeróbia. CO–CC: Cenário otimista–compostagem comunitária; CO–DA: Cenário otimista–digestão anaeróbia.	

13.2.4. Metodologia de ACV

A ACV é uma ferramenta holística que possibilita a compilação e avaliação de potenciais impactos ao longo do ciclo de vida de um produto, processo ou serviço. Esta avaliação pode ser feita desde a extração da matéria-prima, passando pela produção, utilização e a gestão no fim de vida, que inclui o tratamento, o transporte, a reciclagem e a deposição final (ISO, 2006a; Matos et al., 2012; Moberg, 2006). Por outras palavras, a ACV é o escopo de um produto, processo ou serviço, do berço ao túmulo (McDougall, White, Franke, & Hindle, 2001).

Mesmo com os problemas e desafios implícitos, a ACV é uma poderosa ferramenta, pois graças à sua perspectiva abrangente, proporciona uma visão geral do perfil ambiental para cada estratégia, auxiliando na identificação de soluções adequadas para a gestão dos RU (EC, 2010; Laurent et al., 2013; Leme et al., 2014; Nabavi-Pelesaraei, Bayat, Hosseinzadeh-Bandbafha, Afrasyabi, & Chau, 2017).

Este estudo foi realizado de acordo com as normas internacionais de ISO 14040/44 (ISO, 2006a, 2006b). Além disso, assim como nos estudos de (Bernstad Saraiva et al.,

2017; Brogaard & Christensen, 2016; Vergara, Damgaard, & Gomez, 2016) todos os cenários foram modelados na ferramenta de ACV específica para a gestão de resíduos *EASETECH*, *software* desenvolvido pela *Technical University of Denmark* – DTU (Clavreul, Baumeister, Christensen, & Damgaard, 2014). Este *software* se baseia na análise de fluxo de material, gerando resultados para as entradas e processos específicos (Bernstad Saraiva et al., 2017). A grande vantagem de se utilizar ferramentas de ACV específicas à gestão de resíduos, ao invés de modelos genéricos, é que o utilizador pode avaliar mais facilmente a influência de vários parâmetros da gestão de resíduos (composição dos fluxos, mudanças de tecnologias) nos impactos ambientais resultantes (Clavreul et al., 2014).

A unidade funcional (UF) definida foi a gestão de 1 t de RU (desde a produção do resíduo até a deposição final), conforme Bernstad Saraiva et al. (2017). O fluxo base dos RU compreende os resíduos gerados nas habitações, assim como outros resíduos que, pela composição, natureza e volume, sejam equiparados aos resíduos provenientes dos domicílios. Os RU englobam também os resíduos oriundos da varredura e outros serviços de limpeza urbana (Brasil, 2010). Conforme utilizado por Nabavi-Pelesaraei et al. (2017) a avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) foi processada e analisada a partir dos resultados do inventário de ciclo de vida (ICV). A AICV foi realizada para 12 categorias de impacto (Tabela 13-4), de acordo com o método recomendado pelo *International Reference Life Cycle Data System* – ILCD (2011). Foram utilizados os fatores de normalização universais para as emissões e extração de recursos empregados por DTU (2016) e Sala, Crenna, Secchi, & Pant (2017).

A fim de estabelecer os processos incluídos na ACV, os limites do sistema devem ser identificados de forma clara (Matos et al., 2012). Neste estudo, os limites do sistema incluem todas as operações de gestão dos RU sujeitas à UF, incluindo as emissões e os recursos utilizados. De modo que foram considerados parâmetros como as distâncias de recolha e transporte, o tipo de veículos utilizados, a utilização de energia elétrica, as tecnologias de tratamento de RU (Matos et al., 2012). Consideraram-se processos substitutivos adicionais, uma vez que foram contabilizadas as economias líquidas da recuperação de materiais e da energia de processos de tratamento de resíduos.

Apesar do espaço geográfico do estudo ser Goiás, Brasil, devido à inexistência de processos de gestão dos RU no país, utilizaram-se os dados de sistemas de tratamento de RU da Europa, adaptando-os (sempre que possível) às condições climáticas brasileiras.

Tabela 13-4: Fatores de normalização ILCD recomendados.

Categoria de impacto ILCD	Abreviatura	Unidade	Fator de normalização
Potencial de aquecimento global	<i>GWPI00</i>	kg·CO ₂ eq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	8,40E 03
Potencial de destruição da camada de ozono	<i>ODP</i>	kg·CFC ⁻¹¹ eq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	2,34E-02
Toxicidade humana, efeitos cancerígenos	<i>HT-CE</i>	CTUh·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	3,85E-05
Toxicidade humana, efeitos não cancerígenos	<i>HT-non CE</i>	CTUh·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	4,75E-04
Material particulado	<i>PM</i>	kg·PM2.5eq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	5,07 E 00
Formação de oxidantes fotoquímicos	<i>POF</i>	kg·NMVOCeq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	4,06E 01
Acidificação terrestre	<i>TAD</i>	mol·H+eq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	5,55E 01
Eutrofização terrestre	<i>EPT</i>	mol·Neq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	1,77E 02
Eutrofização de água doce	<i>EPF</i>	kg·Peq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	7,34E-01
Eutrofização de marinha	<i>EPM</i>	kg·Neq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	2,83E 01
Ecotoxicidade de água doce	<i>ECF</i>	CTUeq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	1,18E 01
Destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis	<i>DAMR</i>	kg·Sbeq·PE ⁻¹ ·ano ⁻¹	1,93E-01

Fonte: Adaptado de DTU (2016) e Sala et al. (2017).

13.2.5. Inventário de ciclo de vida (ICV) dos processos de tratamento de RU

Quando o ICV é aplicado para os RU, o ciclo de vida começa no momento em que o resíduo é descartado no cesto ou no contentor e finaliza no instante em que retorna ao ambiente sob forma de emissões no aterro ou para a economia como composto, materiais secundários, combustível ou eletricidade (Reichert, 2013). De modo que, para cada processo de gestão de RU avaliado, identificou-se o inventário de entradas e saídas, permitindo assim o cálculo dos impactos ambientais (Matos et al., 2012).

13.2.6. Caracterização dos resíduos urbanos

Os RU do Estado de Goiás são compostos por 55,9% de biorresíduos, 31,9% de materiais recicláveis e 12,2% de outros resíduos (Colvero, Pfeiffer, & Carvalho, 2016). Essa percentagem de biorresíduos é compatível com estudo de Troschinetz & Mihelcic (2009), que apontam que nos países em desenvolvimento 55% (ou mais) da composição total dos RU é de biorresíduos. Já as percentagens de materiais recicláveis (31,9%) estão de acordo com estudos de MMA (2012a) e World Bank (2012), que apontam que os RU no Brasil contêm, respetivamente, de 31,9% e 33% de recicláveis.

Para estimar a caracterização física média detalhada dos RU nos municípios goianos avaliados, foi utilizada a caracterização dos RU obtida em estudo de Lima et al. (2018), conforme explicada no item G.1.2 do Anexo G.1. Além disso, a partir

dos estudos da PMCG (2017) e de Rodrigues (2015), estimou-se a caracterização dos RU (recolhidos de forma diferenciada na fonte) na entrada e na saída da triagem e dos tratamentos biológicos (CC ou DA). Enquanto que as eficiências dos sistemas foram as utilizadas por (Lima et al., 2018). Com as percentagens de refugos destes sistemas e dos resíduos recolhidos de forma indiferenciada, chegou-se à caracterização dos RU que serão encaminhados à incineração.

Destaca-se ainda que, ao longo dos 20 anos de vida útil do projeto, considerou-se uma caracterização constante para os RU na fonte, conforme apresentado na Tabela 13-5 para o final de horizonte de projeto, no *CO*.

Tabela 13-5: Caracterização física, teor de humidade e poder calorífico inferior (PCI) estimado dos resíduos urbanos no Estado de Goiás no ano de 2040 – cenário otimista.

Componente de RU	Caracterização %	Humidade	PCI MJ·kg ⁻¹
Papel			
Papel (papel de escritório)	5,35	0,055	11,96
Papel de cozinha (outro papel)	0,43	0,060	15,28
Revista	0,11	0,048	0,69
Jornal	0,43	0,075	15,60
Cartão limpo	5,49	0,043	16,78
Embalagens multicamada	0,59	0,080	16,11
Metal			
Metal ferroso	2,07	0,020	0,71
Metal não ferroso (alumínio)	0,23	0,020	0,00
Vidro			
Vidro transparente (sem cor)	2,00	0,020	0,14
Vidro colorido	0,40	0,020	0,14
Plástico			
Plástico rígido	4,03	0,021	49,10
PET (garrafas plásticas)	0,73	0,023	22,81
Plástico 2D (plástico macio)	7,86	0,054	46,70
Esferovite (não reciclável)	0,71	0,057	41,89
Outro plástico (produtos plásticos)	1,47	0,041	18,96
Biorresíduo			
Vegetal	49,19	0,700	4,65
Animal	6,71	0,700	4,65
Refugo			
Sanitário (fraldas, toalhetes)	1,65	0,100	17,54
Borracha	0,30	0,020	23,26
Couro	0,25	0,100	17,45
Espuma (outros combustíveis)	0,11	0,140	11,51
Têxtil	2,72	0,100	17,54
Madeira (resíduos de madeira)	0,43	0,200	18,61
Outro (não combustível)	6,60	0,140	0,00
Perigoso	0,14	0,140	11,51
Total	100,00		

Fonte: Adaptado de Colvero et al. (2016) e Lima et al. (2018).

O que irá variar ao longo do tempo são os quantitativos e a caracterização dos RU que chegarão aos sistemas de tratamento (Colvero et al., 2017), resultado dos desvios destes resíduos, conforme definido na Tabela 13-3. Esta variação na caracterização ocorrerá devido aos diferentes desvios de RU previstos para cada ano e cenário avaliado (*CP*, *CMd* e *CO*), conforme apresentado para o ano de 2040 na Tabela G.1-2 do Anexo G.2. A ACV foi realizada especificamente com a caracterização dos RU que chegam aos sistemas de tratamento em 2040, ou seja, último ano de projeto.

13.2.7. Recolha e transporte de resíduos urbanos

Para fazer uma ACV, é preciso diferenciar recolha e transporte de RU. Recolha é o processo que inclui a triagem e o armazenamento dos RU na fonte, assim como as deslocações da primeira até a última paragem da rota estabelecida (EC, 2008; Larsen, Vrgoc, Christensen, & Lieberknecht, 2009). A modelação deste estudo contempla uma recolha do tipo porta-a-porta (já consolidada em Goiás) e veículos com carregamento traseiro, cujos consumos de diesel variam consoante ao tipo de recolha (diferenciada ou indiferenciada). No *EASETECH* a recolha é modelada em litros de diesel por tonelada de resíduo recolhido ($L \cdot t^{-1}$), conforme Larsen et al. (2009). Devido às diferentes densidades específicas e distintos quantitativos dos RU recolhidos pelos veículos, considerou-se um consumo de diesel de $3 L \cdot t^{-1}$ para a recolha de resíduos indiferenciados e de biorresíduos, e de $6 L \cdot t^{-1}$ para a recolha de materiais recicláveis secos, conforme Bassi, Christensen, & Damgaard (2017) e Vergara et al. (2016).

Já o transporte é a condução do veículo vazio, desde a garagem até ao local onde inicia a rota da recolha, a deslocação do veículo cheio desde a última paragem da rota até ao ponto de descarga de resíduos e, por fim, o retorno do veículo vazio desde o local de descarga de resíduos até à garagem, ou para o início de uma nova rota de recolha (Larsen et al., 2009). No *EASETECH*, o transporte é medido em litros de diesel por tonelada de resíduo coletado, multiplicado pelos quilómetros percorridos ($L \cdot t^{-1} \cdot km^{-1}$).

Os consumos considerados para a recolha e o transporte dos RU, assim como o tipo de veículo considerado para cada tipo de recolha e as distâncias percorridas estão apresentadas na Tabela 13-6. As distâncias de transporte dos resíduos da triagem até as indústrias de reciclagem foram os mesmos utilizados no estudo de Lima et al. (2018), que indicam uma média destas deslocações para o Brasil. Já as demais distâncias de transporte

foram obtidas utilizando-se o software *ArcGIS*, versão 10.3.1 (ferramenta de sistema de informação geográfica – SIG) e os *shapefiles* da base de dados do SIEG (2015).

Tabela 13-6: Parâmetros utilizados na modelação da recolha e transporte de RU.

Recolha/transporte e tipo de resíduo	Tipo de veículo	Distância média (km)	Consumo médio de combustível (L·t ⁻¹)
Recolha indiferenciada de RU ¹	Veículo recolha 10 t	-	3,0
Recolha diferenciada de biorresíduos ¹	Veículo recolha 10 t	-	3,0
Recolha diferenciada de recicláveis ¹	Veículo recolha 10 t	-	6,0
Metal ferroso e não ferroso para reciclagem ²	Veículo de longo curso 25 t	350	0,03·distância
Papel e cartão para reciclagem ²	Veículo de longo curso 25 t	400	0,03·distância
Plástico para a reciclagem ²	Veículo de longo curso 25 t	350	0,03·distância
Vidro para reciclagem ²	Veículo de longo curso 25 t	200	0,03·distância
RU da ET para a incineração ³	Veículo de longo curso 25 t	37,9	0,03·distância
RU direto centro urbano para incineração ³	Veículo recolha 10 t	16,9	0,06·distância
RU indiferenciado da incineração para aterro ³	Veículo recolha 10 t	29,3	0,06·distância
RU do município para aterro ³	Veículo recolha 10 t	8,6	0,06·distância
RU do município para aterro controlado ³	Veículo recolha 10 t	14,8	0,06·distância
RU do município para lixeira ³	Veículo recolha 10 t	6,3	0,06·distância

Fonte: Adaptado de ¹Bassi et al. (2017); ²Vergara et al. (2016); ³Elaboração própria.

Com as coordenadas geográficas do sistema de incineração e dos centros urbanos de cada um dos 19 municípios do SGRU proposto (obtido a partir das Equações 13-1 e 13-2), obteve-se as distâncias de transporte dos resíduos direta e indiretamente (via ET) para a incineração. Da mesma forma, calcularam-se as médias das distâncias desde os centros urbanos até aos sistemas de deposição final de RU utilizados atualmente (aterro licenciado, aterro controlado e lixeira). Finalmente, com as coordenadas geográficas do sistema de incineração e do aterro que receberá as cinzas volantes e os resíduos de tratamento dos gases e escórias da incineração, obteve-se a distância entre estes sistemas.

13.2.8. Triagem de materiais recicláveis

A triagem de resíduos recicláveis é efetuada por um conjunto de máquinas e operadores que segregam estes resíduos para posteriormente serem vendidos à indústria de reciclagem (BNDES, 2012; Grimberg & Blauth, 1998). Conforme estudos de APA (2015) e Colvero et al. (2016), considerou-se que a triagem terá uma eficiência média global de 70%. Já as eficiências específicas para cada material que entra na triagem (Lima et al., 2018) estão apresentadas na Tabela 13-7.

Tabela 13-7: Caracterização estimada da recolha diferenciada de materiais recicláveis que chegarão à triagem e eficiência do processo, em 2040 – cenário otimista.

Componente do resíduo enviado à triagem	Caracterização do RU que chega à triagem (%)	Eficiência da triagem (%) Adaptado de Lima et al. (2018)
Papel		
Papel (papel de escritório)	3,26	90
Papel de cozinha (outro papel)	2,87	90
Revista	0,63	90
Jornal	2,87	90
Cartão limpo	18,90	95
Embalagens multicamada	3,69	85
Metal		
Metal ferroso	2,68	95
Metal não ferroso (alumínio)	1,74	95
Vidro		
Vidro transparente (sem cor)	13,68	90
Vidro colorido	2,47	90
Plástico		
Plástico rígido	6,55	95
PET (garrafas plásticas)	5,73	95
Plástico 2D (plástico macio)	7,30	95
Esferovite (não reciclável)	0,50	00
Outro plástico (produtos plásticos)	3,55	85
Biorresíduo		
Vegetal	0,75	0
Animal	0,10	0
Refugo		
Sanitário (fraldas, toalhetes)	1,43	0
Borracha	0,61	0
Couro	0,52	0
Espuma (outros combustíveis)	0,22	0
Têxtil	5,57	0
Madeira (resíduos de madeira)	0,88	0
Outro (não combustível)	13,50	0
Perigoso	0,00	0
Total	100,00	

As premissas de consumo dos recursos tecnológicos da triagem, conforme Cimpan, Maul, Wenzel, & Pretz (2016) e Cimpan, Maul, Jansen, Pretz, & Wenzel (2015), são: eletricidade ($15 \text{ kWh} \cdot \text{t}^{-1}$), diesel ($0,7 \text{ L} \cdot \text{t}^{-1}$) e fio de aço para fardos ($0,85 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$).

13.2.9. Tratamento biológico

Os sistemas de tratamentos biológicos utilizam microrganismos para decompor naturalmente os componentes biodegradáveis dos RU (White, Franke, & Hindle, 1996). Os processos biológicos mais comuns no tratamento de resíduos são a compostagem (aeróbio) e a DA (BNDES, 2014; Piedade, Aguiar, & Ambirumo, 2010), conforme estão descritos a seguir:

Compostagem: processo aeróbio em que a fração sólida é degradada por microrganismos que transformam diferentes componentes biodegradáveis em compostos mais estáveis (Sánchez, Ospina, & Montoya, 2017). O composto oriundo dos RU é um condicionador do solo que substitui os fertilizantes minerais, melhora a retenção de água no solo e possibilita que as plantas aumentem o sistema radicular e o volume de massa vegetal (Bruun, Hansen, Christensen, Magid, & Jensen, 2006; Malheiros, Campos, Oliveira, & Souza, 2014). De acordo com Troschinetz & Mihelcic (2009), a compostagem está a ser utilizada em países como método para reduzir o quantitativo de RU encaminhados à deposição final.

Considerou-se uma CC ao ar livre, utilizando-se os dados disponíveis na biblioteca no *EASETECH*. Para o balanço de massa, entradas (*inputs*) do processo e emissões, usaram-se os dados de Andersen, Boldrin, Christensen, & Scheutz (2010).

Digestão anaeróbia (DA): processo de degradação da matéria orgânica sem a presença de oxigênio (BNDES, 2014). A DA é um processo microbiológico que promove interações metabólicas e enzimáticas com compostos orgânicos biodegradáveis (como os biorresíduos presentes nos RU) e os converte em biogás com cerca de 40-70% de CH₄ (Piedade et al., 2010), que pode ser usado para fins de aquecimento ou na geração de energia elétrica. Além disso, produz um digerido que pode ser desidratado e estabilizado aerobicamente por compostagem (neste estudo modelou-se com a compostagem fechada nos cenários com DA, pois tem menos emissões para a atmosfera do que na compostagem aberta – Lima et al., 2018), podendo vir a ser usado como fertilizante (FEAM & Engebio, 2010; Gueri, Souza, & Kuczman, 2018; Woon & Lo, 2016).

Existem dois tipos de DA:

- DA “via seca”: processo com alto teor de sólidos totais (ST), entre 20% e 50% (Nizami & Murphy, 2010). O processo modelado neste estudo opera com uma alimentação descontínua (*batch*), em que a matéria orgânica é introduzida no digestor, ficando retida até ao final da decomposição, quando o digestor é completamente esvaziado (Crespo, 2013). Este processo tem simplicidade na operação e a baixa manutenção (Nkemka & Hao, 2018; Piedade et al., 2010);
- DA “via húmida”: processo com teor de ST inferior a 15% (normalmente entre 2% e 12%, conforme Nizami & Murphy (2010), com reatores contínuos de tanque agitado,

em que uma pequena fração do conteúdo do reator é substituída em intervalos curtos (Piedade et al., 2010). Esta mistura contínua é feita por meios mecânicos e/ou injeção de biogás.

O resumo dos parâmetros de emissões e consumo usados para a CC ao ar livre e os dois tipos de DA estão apresentados na Tabela 13-8.

Tabela 13-8: Parâmetros utilizados na modelação dos processos de tratamento biológico.				
Consumo dos processos e emissões diretas	Unidade	Compostagem ao ar livre	Digestão anaeróbia “via seca”	Digestão anaeróbia “via húmida”
Pré-tratamento				
Eletricidade (mecânico)	kWh·t ⁻¹ entrada	15	15	15
Eletricidade (<i>pulping</i>)	kWh·t ⁻¹ entrada	-	-	41
Água (<i>pulping</i>)	m ³ ·t ⁻¹ entrada	-	-	1,2
Tratamento biológico principal				
Eletricidade	kWh·t ⁻¹ entrada	0,2	30	20
Diesel	L·t ⁻¹ entrada	3	1,5	0,5
Calor	MJ·t ⁻¹ entrada	-	Assumiu-se que as necessidades de calor serão satisfeitas no local	Assumiu-se que as necessidades de calor serão satisfeitas no local
Estabilização pós-tratamento				
Eletricidade	kWh·t ⁻¹ entrada	Incluído no tratamento principal	Incluído no tratamento principal	Incluído no tratamento principal
Diesel	L·t ⁻¹ entrada			
Emissões para o ar				
CH ₄ DA (fugas)	% CH ₄ biogás	n.a.	2	2
Tratamento aeróbio do CH ₄	% C degradado	2,24	Estabilização baseada nos parâmetros da compostagem fechada	Estabilização baseada nos parâmetros da compostagem fechada
N ₂ O	% N degradado	15		
NH ₃	% N degradado	83		
NMVOCs	kg·t ⁻¹ entrada	2		

Fonte: Adaptado de Cimpan et al. (2015).

13.2.10. Incineração

A incineração é um processo de tratamento de resíduos a alta temperatura, no qual os resíduos são sujeitos a combustão na presença de ar, tendo geralmente em vista a recuperação de energia térmica e/ou elétrica (Silva, Roza, & Rathmann, 2012). A partir dos dados de Møller, Jensen, Kromann, Neidel, & Jakobsen (2013), foi modelado um processo de incineração sobre grelha, com recuperação de energia elétrica (Tsilemou & Panagiotakopoulos, 2006). A eficiência do sistema será de 22%, de acordo com Brogaard & Christensen (2016), já descontado o consumo do próprio sistema de incineração (Fernández-González, Grindlay, Serrano-Bernardo, Rodríguez-Rojas, & Zamorano (2017). Considerando-se que não existem infraestruturas de distribuição de aquecimento urbano nos municípios avaliados (Lima et al., 2018), a modelação não estimou a recuperação de calor. As cinzas e escórias geradas no processo serão enviadas para um aterro, enquanto que os metais recuperados irão para a reciclagem.

13.2.11. Aterro

Os aterros, sistemas indispensáveis para receber os refugos das outras tecnologias que integram um SGRU, devem estar localizados em áreas adequadas para a deposição final de RU (Cherubini et al., 2009; Gbanie, Tengbe, Momoh, Medo, & Kabba, 2013), e dispor de infraestruturas de contenção e controlo de lixiviados. Assim, para os cenários propostos, considerou-se um aterro para receber os refugos da incineração situado numa área sem restrições para um sistema de deposição final de RU.

Entretanto, o CA da gestão dos RU nos municípios avaliados, que também foi modelado neste estudo, possui aterro licenciado, aterro não licenciado e lixeira. Deste modo, estes sistemas foram modelados com alterações aos parâmetros originais do *EASETECH*, com o intuito de representar os diferentes tipos de deposição final de RU existentes, além de considerar as condições climáticas de Goiás.

No Estado de Goiás, o clima é tropical, com temperaturas médias em torno dos 23,4°C e com uma precipitação média anual de 1 500 mm (Cardoso, Marcuzzo, & Barros, 2012, 2014). Este clima aumenta a taxa de decomposição dos resíduos biodegradáveis presentes nos RU e, portanto, a geração de CH₄ (Olesen & Damgaard, 2014). As taxas de decaimento de 1ª ordem (k) para a produção do gás de aterro (LFG) foram ajustadas às condições climáticas de Goiás. Além disso, para cada tipo de deposição final (aterro, aterro controlado e lixeira) considerou-se diferentes valores de k . Para este ajuste foi utilizado um fator de correção do CH₄ (MCF), conforme estudo de ABRELPE (2013). Considerou-se uma altura de 10 m para as camadas para todo os sistemas de deposição final, uma densidade dos resíduos de 1 t·m⁻³ e um horizonte temporal de 100 anos – que inclui operação e pós-encerramento (Lagerkvist, Ecke, & Christensen, 2011; Manfredi & Christensen, 2009; Olesen & Damgaard, 2014). Os parâmetros mais relevantes utilizados na modelação dos sistemas de deposição final estão apresentados na Tabela 13-9.

Tabela 13-9: Parâmetros utilizados na modelação dos sistemas de deposição final de RU.

Descrição da tecnologia	Parâmetro	Unidade	Lixeira	Aterro controlado	Aterro com <i>flare</i>
			Sem cobertura, sem captação de gás e de lixiviado	Cobertura superior, sem captação de gás ou de lixiviado	Cobertura superior, com captação de gás e de lixiviado
Construção e operação ¹	Consumo diesel	L·t ⁻¹ resíduo	2,02E-4	2,02E-4	2,02E-4
	Consumo eletricidade	kWh·t ⁻¹ resíduo	-	-	8,00E-3
Geração de gás de aterro (LFG) ²	Fator de correção para taxa de decaimento	-	0,4	0,8	1
LFG – gás recolhido ¹	Ano 0-5	% gás gerado	0	30	45
	Ano 5-15	% gás gerado	0	45	80
	Ano 15-55	% gás gerado	0	55	95
	Ano 55-100	% gás gerado	0	0	0
LFG – tratamento ¹	Sem tratamento	% gás recolhido	100	100	0
	Emissões fugitivas	% gás recolhido	0	0	2
	Flare ou motor a gás	% gás recolhido	0	0	98
LFG – cobertura superior ¹	Oxidação	% CH ₄	0	18	36
Geração de lixiviado ¹	Infiltração líquida	mm·ano ⁻¹	1 000	900	650
Captação de lixiviado ¹	Ano 0-80	% gás gerado	0	0	99,9
	Ano 80-100	% gás gerado	0	0	95
Tratamento de lixiviado ¹	Tipo de tratamento		-	-	Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR)
Carbono armazenado ¹		% C-biogénico restante	0	0	100

Fonte: Adaptado de ¹DTU (2016); ²ABRELPE (2013).

13.2.12. Eletricidade e calor

Conforme estudo de Lima et al. (2018), modelou-se a eletricidade para consumo no processo, assim como a produção evitada/substituída com os dados do ICV para o Brasil, obtidos na base de dados do *Ecoinvent*. Definiu-se ainda uma tecnologia marginal simples como o estado atual da eletricidade no Estado de Goiás, em que a produção de eletricidade a partir do gás natural (em um ciclo combinado) é a tecnologia que provavelmente melhor se adapta ao mercado da eletricidade (Bernstad Saraiva et al., 2017).

13.2.13. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados neste estudo permite compreender resultados e identificar singularidades nos processos de gestão de resíduos (Matos et al., 2012), assim como evidenciar as variações decorrentes da alteração dos valores de entrada do modelo (Bisinella, Conradsen, Christensen, & Astrup, 2016).

Desse modo, para captar incertezas nas tecnologias e processos, modelaram-se diferentes alternativas dos sistemas nos cenários avaliados. Testou-se a sensibilidade dos resultados em relação às distâncias percorridas pelos materiais recicláveis entre a triagem e a indústria de reciclagem. Utilizaram-se as distâncias médias de transporte de 200-400 km entre a triagem e a indústria de reciclagem. Contudo, como as maiores indústrias de reciclagem do Brasil se encontram no Estado de São Paulo, realizou-se uma análise de sensibilidade para as distâncias de transporte de recicláveis entre os municípios de Goiânia (município que mais produz RU dentre os 19 municípios avaliados) e São Paulo, situado no sudeste do Brasil. Neste caso, considerou-se 900 km, que será a distância média de transporte entre Goiânia e São Paulo (conforme identificado no *software Google Earth*), caso todos os recicláveis sejam enviados para indústrias recicladoras de São Paulo. Também foi testada a sensibilidade dos resultados ao substituir a DA “via seca” (padrão neste estudo), pela DA “via húmida”.

13.3. Resultados e discussão

13.3.1. O SGRU proposto

Com a metodologia da geometria das massas, identificou-se que o CM dos 19 municípios que compõem o SGRU proposto se situa no município de Goiânia, maior produtor de RU dentro os municípios avaliados. Porém, Aparecida de Goiânia, município adjacente a Goiânia, foi definido como sede do sistema de incineração, pelo facto de ser o segundo município goiano mais populoso e, também, possuir o maior Distrito Industrial Goiano, com quatro polos industriais (Anjos, 2009; FIEG, 2015; IBGE, 2016; SEGPLAN & SEPIN, 2011). Desses, o *Polo Empresarial* foi o considerado para a instalar a incineração, por existirem 130 indústrias (fabricantes de peças de veículos, material de limpeza, alimentação, equipamentos hospitalares, dentre outros), ou seja, potenciais usuários da energia elétrica produzida na incineração. O *Polo Empresarial* é o maior dos quatro polos industriais de Aparecida de Goiânia e situa-se junto à rodovia BR-153, a mais importante infraestrutura rodoviária de Goiás (SEPLAN, 2010).

A escolha de Aparecida de Goiânia para a instalação da unidade de incineração foi estratégica, pois conforme mencionam Bridi (2008) e Pereira et al. (2013), um local centralizado e mais próximo possível dos grandes produtores de resíduos minimiza os custos de recolha e transporte.

Para respeitar as distâncias máximas de 25 km para o transporte direto de RU (Chen & Lo, 2016; FEAM & Engebio, 2010). dos centros urbanos de cada município até a incineração, e considerando-se uma ET para aqueles municípios que tem os seus centros urbanos a mais de 25 km da incineração (US EPA, 2002), identificou-se que serão necessárias nove ET para servir 17 municípios. Somente Aparecida de Goiânia e Hidrolândia enviarão seus RU diretamente à incineração. Deste modo, o SGRU terá tratamento local (descentralizado) dos materiais recicláveis e dos biorresíduos, estando centralizada a incineração e o aterro. Este sistema de deposição final de RU deverá ser instalado no município de Hidrolândia, a 29,3 km da incineração e nas imediações da BR-153, pois é a área livre para a instalação de aterro mais próxima da incineração (Colvero et al., 2018).

O sistema de incineração, o aterro e as nove ET do SGRU proposto estão apresentados na Figura 13-3. As coordenadas geográficas dos centros urbanos dos 19 municípios, assim como da incineração, do aterro e das nove ET estão apresentadas na Tabela G.1-3 do Anexo G.1.

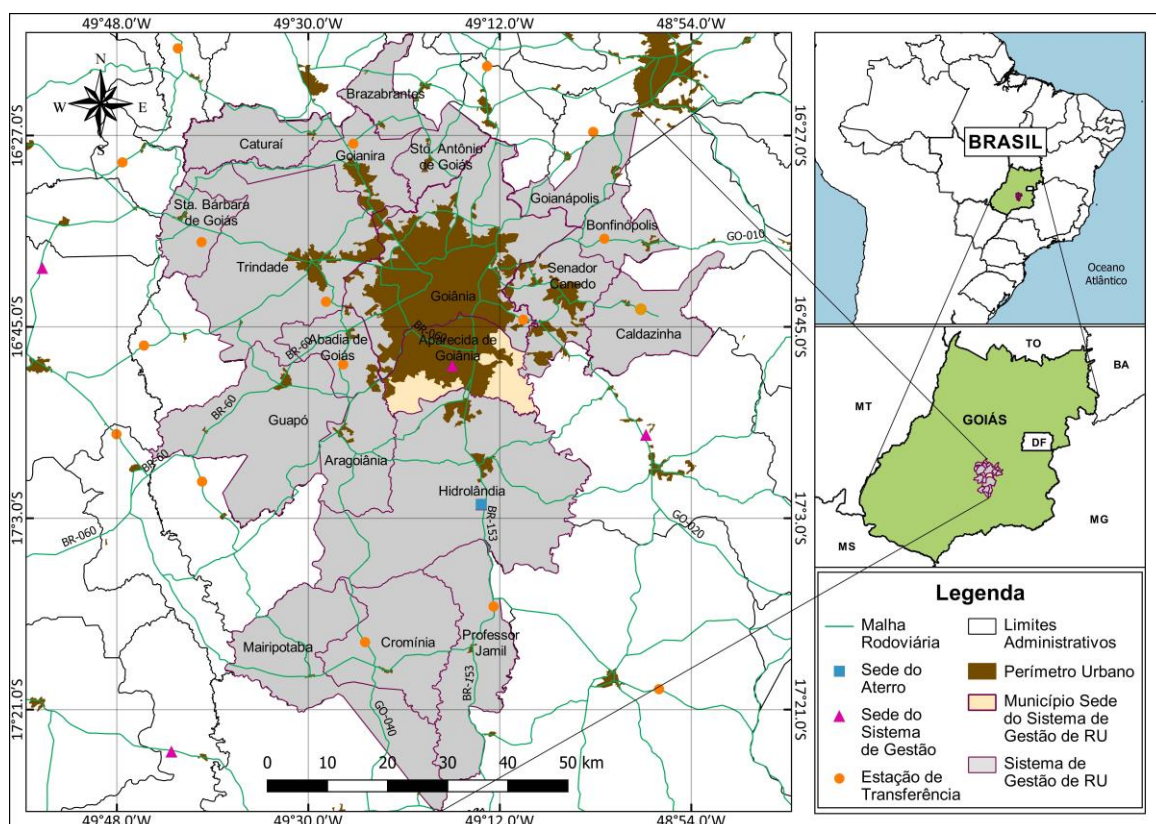


Figura 13-3: Sistema de gestão de RU proposto para os 19 municípios de Goiás.

13.3.2. Comparação global entre as categorias de impacto para os sistemas avaliados

Conforme Reichert & Mendes, (2014), os valores positivos da ACV representam os impactos globais (emissões para o ambiente), enquanto que valores negativos representam poupanças líquidas para o ambiente (emissões que foram evitadas).

Os resultados líquidos normalizados da ACV (realizada para o *CA*, *CP*, *CMd* e *CO* para 2040), em miliequivalente de pessoa – mPE, para cada categoria de impacto estão apresentados na Tabela 13-10. A normalização em mPE possibilita comparar as diferentes categorias de impacto. Dos cenários avaliados, obteve-se que o *CA* da gestão dos RU nos 19 municípios avaliados tem os maiores impactos ambientais em sete das 12 categorias avaliadas: potencial de aquecimento global (*GWP100*), potencial de destruição da camada de ozono (*ODP*), toxicidade humana, efeitos cancerígenos (*HT-CE*), eutrofização de água doce (*EPF*), eutrofização marinha (*EPM*), ecotoxicidade de água doce (*ECF*) e, destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis (*DAMR*).

O processo de gestão que é o maior responsável pelas emissões ao ambiente no *CA* é a deposição final dos RU. De modo que os aterros controlados, que recebem 70% do destino final dos RU produzidos nos municípios avaliados, acabam por ser os responsáveis pelas maiores emissões no *CA*. Quanto às economias ambientais, o único processo no *CA* que evita emissões para o ambiente é a reciclagem. Entretanto, considerando-se que a triagem tem uma eficiência média de 70% (APA, 2015; Colvero et al., 2016), estima-se que somente 2% dos 2,8% de materiais potencialmente recicláveis enviados para a triagem nos 19 municípios acabem por ser encaminhados à reciclagem, ou seja, uma taxa de desvio de RU de aterro que está aquém das metas definidas no PLANARES.

Em contrapartida, os *CO-DA*, que possuem os maiores desvios de RU dos aterros e que ainda valorizam os biorresíduos em biogás (que pode ser utilizado para a produção de energia elétrica), tem as menores emissões ao ambiente em oito das 12 categorias de impacto avaliadas: *GWP100*, *ODP*, *HT-CE*, *EPF*, *ECF*, *DAMR*, material particulado (*PM*) e formação de oxidantes fotoquímicos (*POF*). Para estas categorias de impacto, três processos se destacam quanto às emissões evitadas: reciclagem, que representa as maiores economias líquidas em quatro categorias de impacto; economia de energia, obtida a partir da energia elétrica produzida no incinerador, que representa as maiores emissões evitadas ao ambiente em duas categorias; e o fertilizante químico mineral evitado (que representa o efeito da aplicação de fertilizantes naturais no solo, em substituição a uma fração dos fertilizantes

minerais – Lima et al., 2018), que obteve a maior economia líquida em duas categorias (*HT-CE* e *EPF*).

Curiosamente, para as categorias acidificação terrestre (*TAD*), eutrofização terrestre (*EPT*) e toxicidade humana, efeitos não cancerígenos (*HT-non CE*), os menores impactos estão no *CA*, sobretudo pelo que deixa de ser emitido neste cenário do que por reais benefícios ambientais. Nestas categorias, o facto dos RU serem transportados para sistemas de deposição final que estão mais próximos do centro gerador de resíduos provoca menores emissões. No entanto, atualmente estes menores deslocamentos são feitos, sobretudo, para sistemas de deposição final inadequados, a menos de 3 km do perímetro urbano, distância mínima de segurança entre os sistemas de deposição final e a população, conforme estabelecido pela Resolução CEMAm n.º 05/2014 (SEMARH/GO, 2014). Além disso, as emissões dos processos de CC e incineração (para o SGRU proposto) acabam por elevar os impactos, principalmente nas categorias *TAD* e *EPT*, o que faz com que o *CA* tenha menores emissões. Salienta-se ainda que o SGRU proposto (com CC ou DA) produz uma toxicidade humana superior comparativamente ao *CA* na categoria *HT-non CE*, que é explicado pela emissão de bioaerossóis (contendo fungos, bactérias, pólenes e partículas orgânicas), elementos que Pearson et al. (2015) apontaram ser nocivos à saúde humana. Estes bioaerossóis são provenientes da produção de fertilizantes orgânicos (que irão substituir os fertilizantes minerais). Porém, os resultados mostram que o SGRU proposto evita efeitos de toxicidade cancerígena sobre a saúde humana, quando feita a substituição dos fertilizantes minerais (cancerígenos devido à presença de nitratos – Ward, 2008) pelos fertilizantes orgânicos produzidos pela CC ou DA. Além disso, o aumento da reciclagem de plásticos reduz os efeitos cancerígenos provocados, a longo prazo, pela degradação dos plásticos (devido a ftalatos – Meeker, Sathyanarayana, & Swan, 2009).

Comparando-se a CC com a DA nos SGRU propostos, verifica-se que para as 12 categorias de impacto, os cenários que possuem DA promovem uma importante economia líquida (através das emissões ao ambiente substancialmente menores) comparados aos cenários com CC. Para a categoria *GWP100*, para o *CO*, o SGRU com CC tem quatro vezes mais emissões ao ambiente do que a DA “via seca”, e três vezes mais emissões que a DA “via húmida”. Para a categoria *PM*, enquanto que os cenários com CC geram elevadas emissões ao ambiente (devido às emissões do processo de CC), os cenários com DA evitam emissões ao ambiente. De qualquer modo, os SGRU com CC devem ser

valorizados em comparação ao CA. Isso porque, além de apresentarem melhores resultados ambientais na maior parte das categorias de impacto em comparação com o CA, a CC é um processo que necessita menores áreas que o aterro e ainda gera um composto bioestabilizado que pode ser utilizado na agricultura em substituição aos fertilizantes minerais (Silva & Andreoli, 2010).

Na Tabela G.1-4 do Anexo G.1 estão apresentados os resultados detalhados para cada categoria de impacto, em cada um dos sete cenários avaliados na análise global, acrescidos dos três cenários com DA “via húmida”, avaliados na análise de sensibilidade. Quanto aos cenários avaliados, estão apresentados nas Figuras G.1-1 a G.1-8 do Anexo G.1.

Tabela 13-10: Resultados líquidos normalizados das 12 categorias de impacto avaliadas, em 2040 (em miliequivalentes de pessoa – mPE).

Categorias de Impacto	Cenários									
	CA	CP-CC	CP-DA		CMD-CC	CMD-DA		CO-CC	CO-DA	
			Seca	Húmida		Seca	Húmida		Seca	Húmida
<i>GWPI00</i>	105,13	31,27	11,09	12,31	31,26	9,96	11,31	30,88	8,44	9,89
<i>ODP</i>	28,44	-11,22	-11,29	-11,26	-12,23	-12,30	-12,27	-13,25	-13,33	-13,29
<i>HT-CE</i>	24,63	-105,76	-107,02	-108,46	-111,20	-112,53	-114,03	-116,89	-118,30	-119,87
<i>HT-non CE</i>	23,23	213,09	211,73	167,47	223,23	221,79	175,31	233,51	231,99	183,08
<i>PM</i>	-1,80	12,05	-13,68	-13,46	12,38	-14,78	-14,46	12,90	-15,71	-15,36
<i>POF</i>	12,39	24,32	8,44	10,14	24,36	7,61	9,53	25,01	7,31	9,36
<i>TAD</i>	-0,39	110,34	4,44	4,78	115,45	3,67	4,11	121,26	3,55	4,01
<i>EPT</i>	1,69	164,57	16,66	16,70	172,31	16,47	16,59	180,73	16,33	16,51
<i>EPF</i>	1,56	-18,05	-18,12	-17,53	-19,09	-19,15	-18,53	-20,34	-20,42	-19,76
<i>EPM</i>	35,56	16,20	12,84	12,91	16,30	12,76	12,90	16,75	13,01	13,16
<i>ECF</i>	16 566,06	-3 048,04	-3 795,74	-4 753,94	-2 969,90	-3 759,13	-4 765,11	-3 230,53	-4 063,47	-5 119,81
<i>DAMR</i>	-4,75	-19,29	-19,32	-19,28	-20,79	-20,83	-20,78	-22,27	-22,30	-22,25

GWPI00: potencial de aquecimento global; *ODP*: potencial de destruição da camada de ozono; *HT-CE*: toxicidade humana, efeitos cancerígenos; *HT-non CE*: toxicidade humana, efeitos não cancerígenos; *PM*: material particulado; *POF*: formação de oxidantes fotoquímicos; *TAD*: acidificação terrestre; *EPT*: eutrofização terrestre; *EPF*: eutrofização da água doce; *EPM*: eutrofização marinha; *ECF*: ecotoxicidade da água doce; *DAMR*: destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis

13.3.3. Análise dos impactos por processo

As emissões e as economias dos processos para cada uma das 12 categorias de impacto avaliadas neste estudo (sem a DA “via húmida”, que foi avaliada separadamente) estão apresentados na Figura 13-4.

Em geral, os resultados evidenciam que quanto maior os desvios de RU, maiores as economias líquidas nos processos, ou seja, os CO trazem maiores benefícios ambientais do que os CP. De qualquer modo, mesmo para o CP-CC e para o CP-DA, que contemplam

menores desvios de RU dos aterros, as economias ambientais são maiores do que o encontrado no CA. Este estudo evidencia que a proposta do PLANARES (MMA, 2012a) de aumentos progressivos no desvios de RU dos aterros com o passar dos anos trará ganhos ambientais.

Os resultados obtidos vão ao encontro do estudo de Nabavi-Pelesaraei et al. (2017), que concluíram que a redução do volume de RU nos aterros conduz os sistemas a diminuir os impactos ambientais negativos dos sistemas de deposição final. A proposta de desviar o máximo de RU possíveis dos aterros, tendo como prioridade sistemas de gestão de RU que valorizem a economia circular (como a reciclagem e a CC ou a DA) e a produção de energia elétrica (quando não for possível reutilizar ou reciclar), é uma excelente alternativa para minimizar a crise da energia fóssil, pois possibilita a substituição de energias não renováveis. Bernstad Saraiva et al. (2017) salientam ainda que a substituição de um SGRU focado em aterro por uma gestão voltada para a separação de biorresíduos, diminui os impactos ambientais.

Comparando-se o CA (que envia 96,4% de seus RU para a deposição final) com os cenários avaliados (que possuem incineração), verifica-se que os sistemas de deposição final terão sempre maiores impactos que a incineração nas categorias de impacto *GWP100*, *POF* e *EPM* (cujas as emissões da incineração são mais visíveis numericamente). Este resultado converge com o estudo de Mendes, Aramaki, & Hanaki (2004), que apontaram que os aterros tem um maior impacto ambiental do que a incineração. Reichert & Mendes l.(2014) ressaltam ainda que a reciclagem e a *poupança energética* (obtida através da incineração) trazem ganhos ambientais para um SGRU.

Além disso, os resultados apontaram que a substituição dos fertilizantes minerais pelos compostos provenientes do tratamento dos biorresíduos (na CC ou na DA) traz benefícios ambientais elevados na *HT-CE* e na *EPF*.

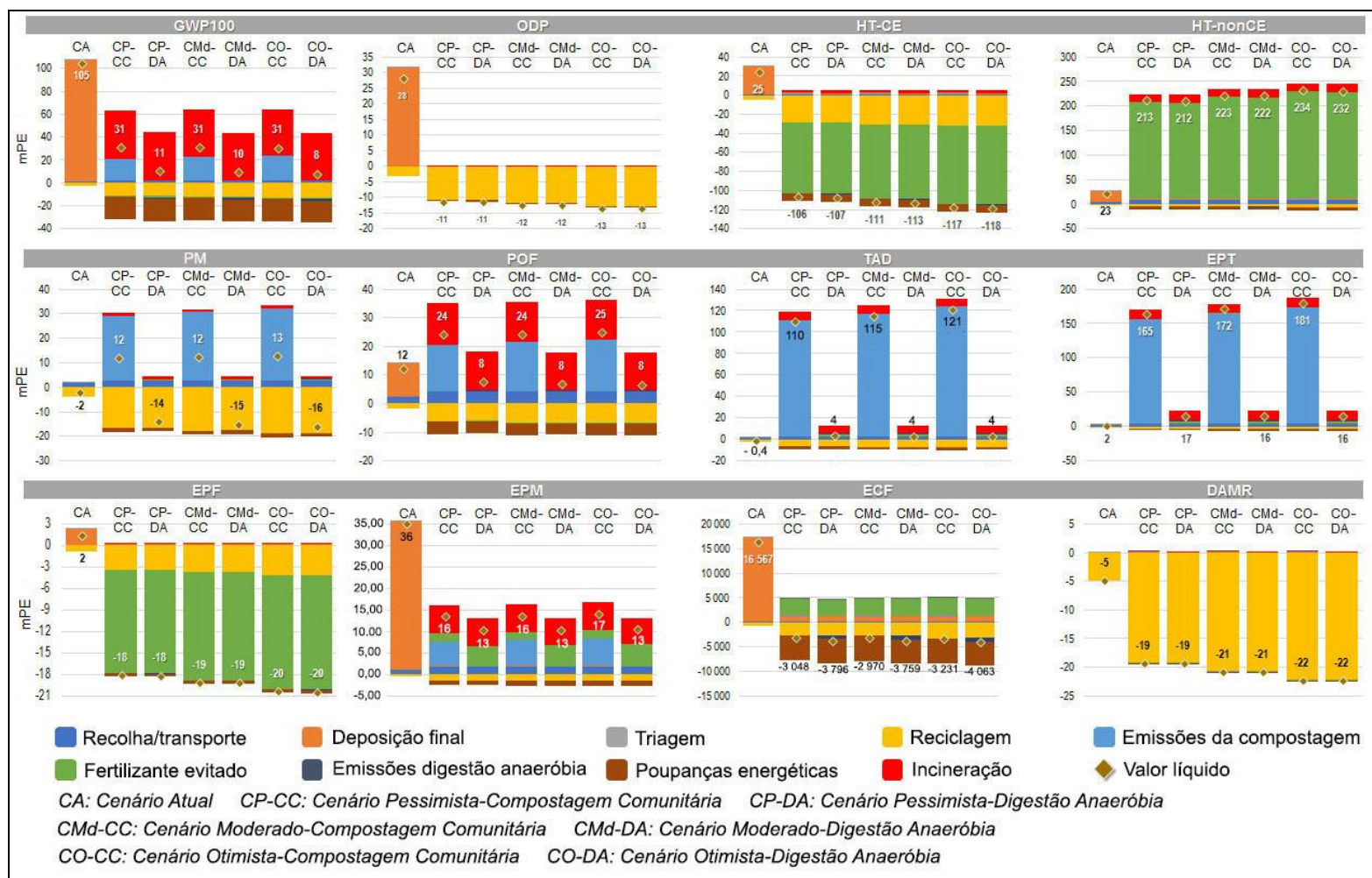


Figura 13-4: Resultado da ACV, em 2040, dos cenários avaliados para os 19 municípios de Goiás (resultados normalizados e em miliequivalentes de pessoa – mPE): *GWP100*: potencial de aquecimento global; *ODP*: potencial de destruição da camada de ozônio; *HT-CE*: toxicidade humana, efeitos cancerígenos; *HT-non CE*: toxicidade humana, efeitos não cancerígenos; *PM*: material particulado; *POF*: formação de oxidantes fotoquímicos; *TAD*: acidificação terrestre; *EPT*: eutrofização terrestre; *EPF*: eutrofização da água doce; *EPM*: eutrofização marinha; *ECF*: ecotoxicidade da água doce; *DAMR*: destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis.

Também foram analisados, separadamente, os processos geradores de impactos ambientais positivos e negativos para as 12 categorias de impacto avaliadas. Para não tornar a análise repetitiva, fez-se uma avaliação somente do *CA*, *CO-CC* e *CO-DA_{via seca}*. Conforme apresentadas nas Figuras 13-5a e 13-5b, os valores externos dos gráficos circulares representam as emissões evitadas (valores negativos), enquanto que a parte interna dos gráficos são os impactos ambientais (valores positivos).

Para o *CA*, as emissões provêm da deposição final em aterros (licenciados e não licenciados) e lixeiras e da recolha e transporte de resíduos. Na categoria *GWP100*, 99% das emissões referem-se à deposição final e 1% à recolha. Já na categoria *PM*, 92% das emissões estão vinculadas à recolha e transporte, enquanto que os 8% restantes são da deposição final. Já as economias líquidas do *CA* estão vinculadas à reciclagem para todas as categorias.

Para os outros dois cenários, há uma variedade de processos que geram impactos ou economias. Na categoria *GWP100* do *CO-CC* as emissões ao ambiente estão vinculadas maioritariamente à incineração (63%) e as emissões da *CC* (33%), enquanto que emissões evitadas estão relacionadas, principalmente, à economia de energia (59%) e a reciclagem (38%). Já para a categoria *HT-CE*, as emissões ao ambiente estão vinculadas à incineração (53%) e a deposição final (25%), enquanto que as economias estão relacionadas com os fertilizantes minerais evitados (67%) e com a reciclagem (26%). Ainda para o *CO-CC*, a maioria dos impactos ambientais das categorias estão relacionado com emissões dos processos de *CC* e da incineração, enquanto que as emissões evitadas estão vinculadas à reciclagem e à economia de energia.

Quanto ao *CO-DA_{via seca}*, embora os impactos variem de acordo com a categoria, são gerados principalmente pela incineração, seguido da recolha e transporte, fertilizantes evitados e deposição final. Já as economias são, sobretudo, resultados da reciclagem, seguido da economia de energia e na categoria *HT-CE*, dos fertilizantes evitados.

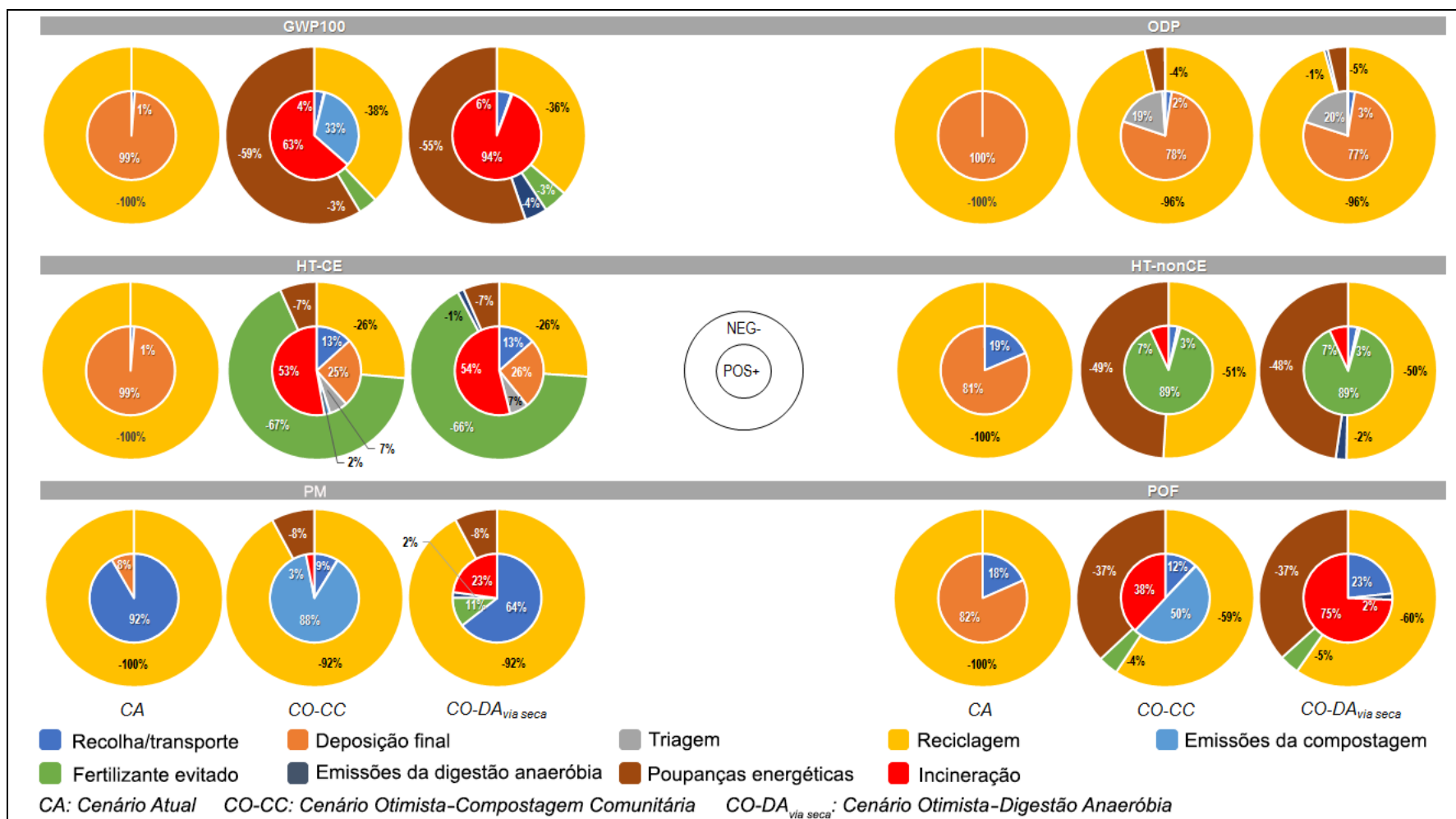


Figura 13-5a: Emissões e economias dos processos avaliados para os cenários CA, CO-CC e CO-DA_{via seca} em 2040 (resultados normalizados e em miliequivalentes de pessoa – mPE). *GWP100*: potencial de aquecimento global; *ODP*: potencial de destruição da camada de ozono; *HT-CE*: toxicidade humana, efeitos cancerígenos; *HT-non CE*: toxicidade humana, efeitos não cancerígenos; *PM*: material particulado; *POF*: formação de oxidantes fotoquímicos; *TAD*: acidificação terrestre; *EPT*: eutrofização terrestre; *EPF*: eutrofização da água doce; *EPM*: eutrofização marinha; *ECF*: ecotoxicidade da água doce; *DAMR*: destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis.

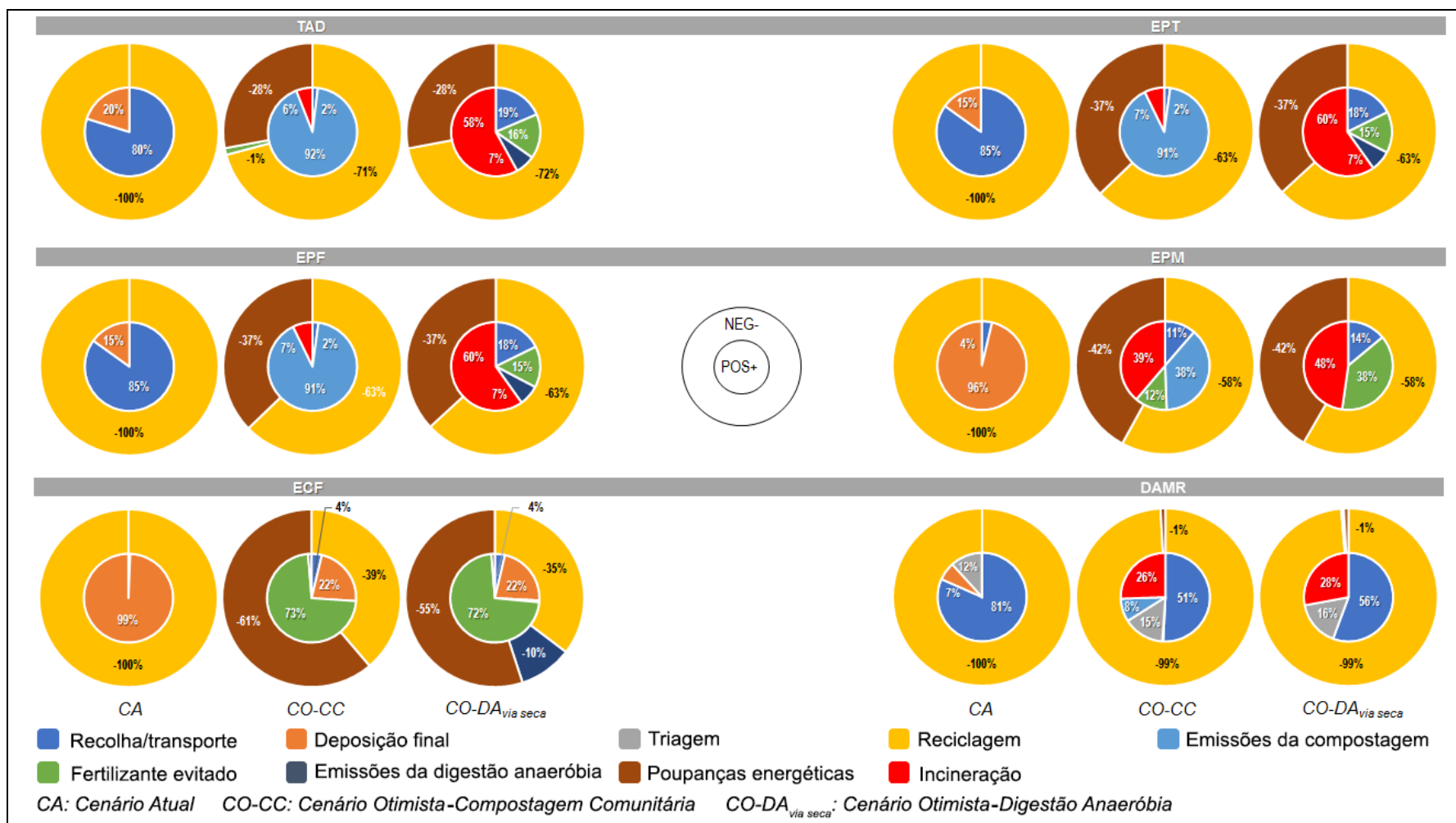


Figura 13-5b: Emissões e economias dos processos avaliados para os cenários CA, CO-CC e CO-DA_{via seca}, em 2040 (resultados normalizados e em miliequivalentes de pessoa – mPE). *GWP100*: potencial de aquecimento global; *ODP*: potencial de destruição da camada de ozono; *HT-CE*: toxicidade humana, efeitos cancerígenos; *HT-non CE*: toxicidade humana, efeitos não cancerígenos; *PM*: material particulado; *POF*: formação de oxidantes fotoquímicos; *TAD*: acidificação terrestre; *EPT*: eutrofização terrestre; *EPF*: eutrofização da água doce; *EPM*: eutrofização marinha; *ECF*: ecotoxicidade da água doce; *DAMR*: destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis.

13.3.4. Análise de sensibilidade

Realizou-se uma análise de sensibilidade do processo vinculado à reciclagem, em que se considerou o aumento das distâncias de transporte dos materiais recicláveis da triagem para as indústrias recicladoras de 200-400 km para 900 km. O que se verificou é que o aumento na distância de transporte de recicláveis até as indústrias de transformação levará à redução nas economias ambientais. Por exemplo, para a categoria *GWP100*, esta diminuição nas economias com a reciclagem varia entre 4% e 8%. Isto significa que os tomadores de decisão do SGRU proposto, assim como para qualquer SGRU que tenha triagem de RU, devem buscar enviar seus recicláveis para indústrias de reciclagem mais próximas das triagens. De qualquer modo, a reciclagem continua a proporcionar relevantes economias ambientais para todas as categorias de impacto. Mesmo no *CA*, em que se estima que somente cerca de 2% dos recicláveis são desviados dos aterros, o processo de reciclagem gera economias ambientais (Figura 13-6). O aspeto mais crítico no aumento das distâncias de transporte de recicláveis não é ambiental, mas antes o acréscimo dos custos de transporte, que representam, juntamente com os custos da recolha, 60% do total de despesas de um SGRU (Matos et al., 2012).

Fez-se ainda uma análise de sensibilidade comparando-se a DA “via seca” com a DA “via húmida”, a nível global, os cenários com DA “via seca” apresentam melhores resultados em nove das 12 categorias de impacto avaliadas (Figura 13-7): *GWP100*, *ODP*, *PM*, *POF*, *TAD*, *EPT*, *EPF*, *EPM* e *DAMR*. Um exemplo disso é a *GWP100*, cuja *poupança energética* da DA traz mais benefícios ambientais na DA “via seca” do que na DA “via húmida”. Pelo contrário, nas categorias *ECF* e na *HT-CE* e *HT-Non CE*, os impactos são menores na DA “via húmida”, sendo que em relação à toxicidade humana, os fertilizantes minerais evitados são a razão para a DA “via húmida” gerar menos impactos ambientais do que a DA “via seca”.

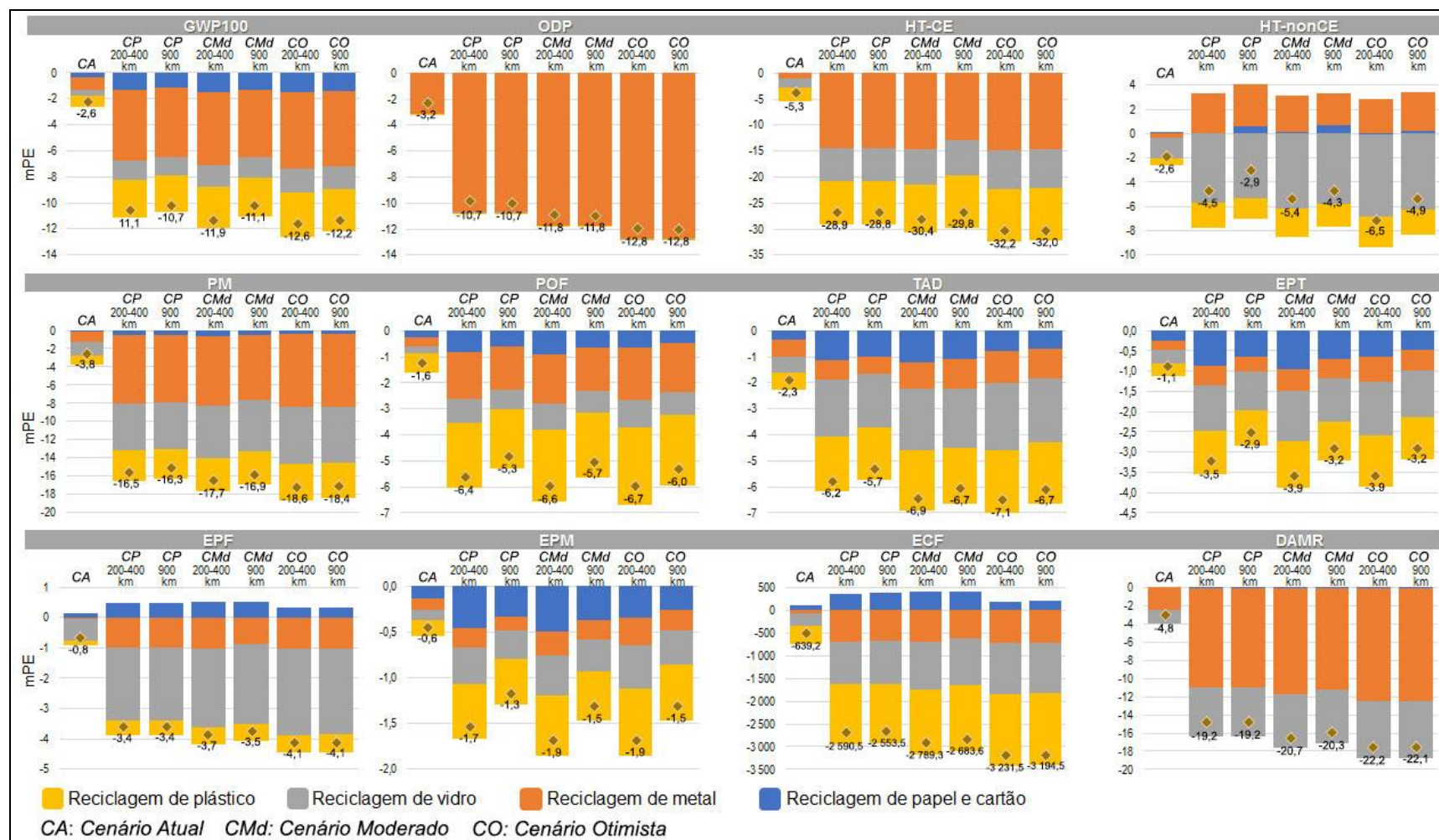


Figura 13-6: Análise de sensibilidade para as distâncias da triagem para a reciclagem nos cenários atual, pessimista, moderado e otimista, em 2040 (resultados normalizados e em miliequivalentes de pessoa – mPE). *GWP100*: potencial de aquecimento global; *ODP*: potencial de destruição da camada de ozono; *HT-CE*: toxicidade humana, efeitos cancerígenos; *HT-non CE*: toxicidade humana, efeitos não cancerígenos; *PM*: material particulado; *POF*: formação de oxidantes fotoquímicos; *TAD*: acidificação terrestre; *EPT*: eutrofização terrestre; *EPF*: eutrofização da água doce; *EPM*: eutrofização marinha; *ECF*: ecotoxicidade da água doce; *DAMR*: destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis.

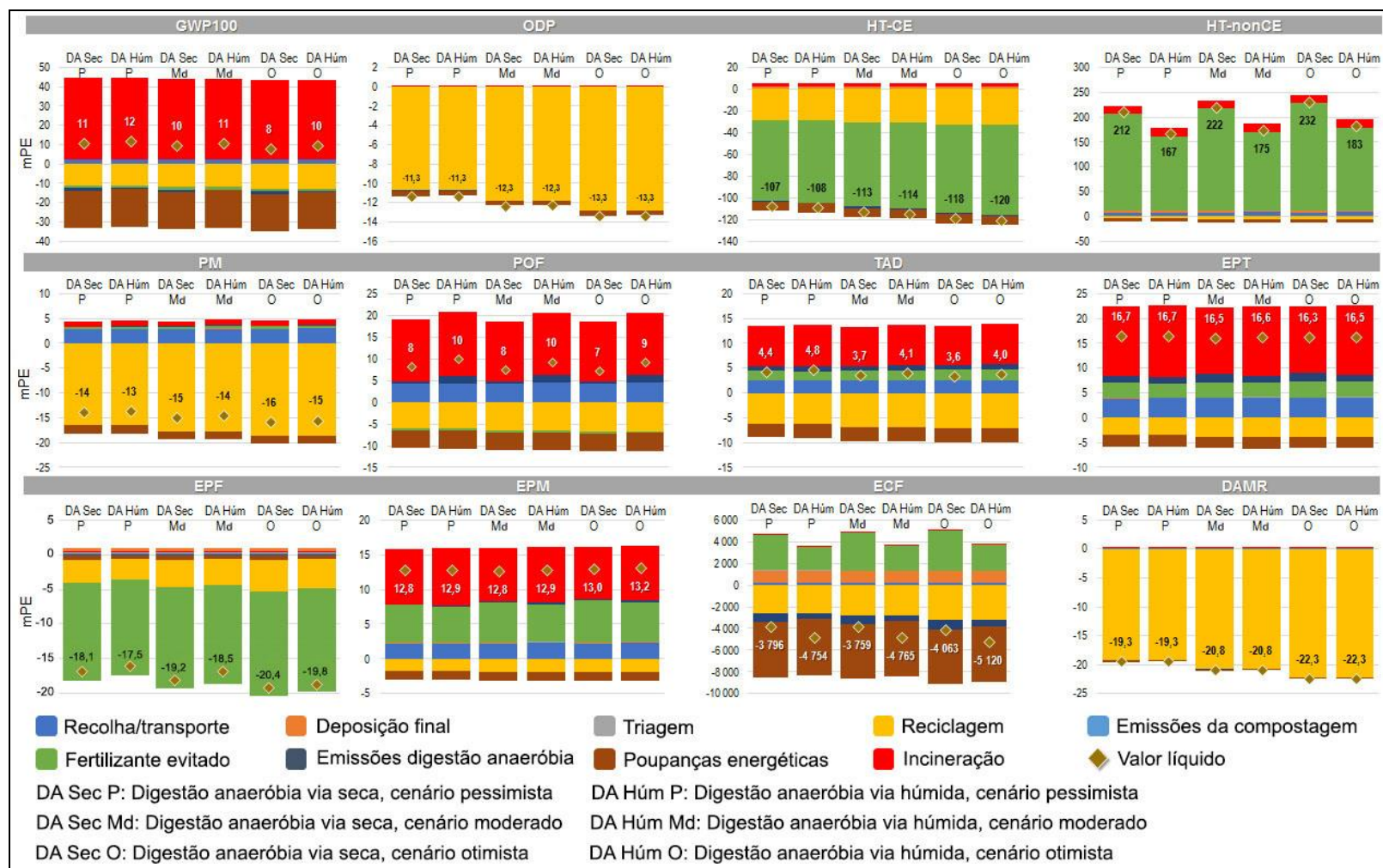


Figura 13-7: Análise de sensibilidade comparativa DA_{via seca} versus DA_{via húmida} para os cenários pessimista, moderado e otimista, em 2040 (resultados normalizados e em miliequivalentes de pessoa – mPE). *GWP100*: potencial de aquecimento global; *ODP*: potencial de destruição da camada de ozono; *HT-CE*: toxicidade humana, efeitos cancerígenos; *HT-non CE*: toxicidade humana, efeitos não cancerígenos; *PM*: material particulado; *POF*: formação de oxidantes fotoquímicos; *TAD*: acidificação terrestre; *EPT*: eutrofização terrestre; *EPF*: eutrofização da água doce; *EPM*: eutrofização marinha; *ECF*: ecotoxicidade da água doce; *DAMR*: destruição de recursos abióticos, minerais, fósseis e renováveis.

13.4. Considerações finais

A utilização de uma ACV para comparar o atual modelo de gestão com possíveis alternativas de SGRU para os 19 municípios que se situam junto a Goiânia, capital do Estado de Goiás, Brasil, poderá servir de elemento norteador aos tomadores de decisão dos municípios envolvidos, assim como para outros municípios de regiões metropolitanas de qualquer parte do mundo.

Os resultados confirmaram que o CA (em que 72,7% dos RU são encaminhados para sistemas de deposição final de RU inadequados), é um elevado passivo ambiental para os municípios avaliados. Ao todo, sete das 12 categorias de impacto avaliadas apresentaram maiores emissões ao ambiente no CA: *GWP100*, *ODP*, *HT-CE*, *EPF*, *EPM*, *ECF* e *DAMR*. Sendo que a deposição final de RU (em aterros licenciados e não licenciados e em lixeiras) é a maior responsável pelas emissões ao ambiente no CA. Por outro lado, o CO-DA (com maiores desvios de RU dos aterros) é o modelo de gestão com os melhores resultados quanto às economias líquidas de emissões ao ambiente, em oito das 12 categorias de impacto analisadas: *GWP100*, *ODP*, *HT-CE*, *PM*, *POF*, *EPF*, *ECF* e *DAMR*. Sendo que a reciclagem é o processo em que se obtém as maiores economias líquidas em quatro categorias de impacto.

Quanto aos SGRU propostos, em todas as categorias de impacto avaliadas, os modelos de gestão com DA têm menores emissões ao ambiente comparativamente à CC. Para a categoria *GWP100*, o CO-CC tem o quádruplo de emissões ao ambiente em comparação com a CO-DA “via seca”. Para a categoria *PM*, enquanto que o SGRU com DA tem resultados com economias líquidas (principalmente devido à reciclagem), no SGRU com CC há emissões ao ambiente, pois os impactos do processo de CC são maiores que as emissões evitadas com a reciclagem.

Além disso, cabe destacar que os SGRU com maiores desvios de RU dos aterros (nos CO), apresentaram melhores resultados ambientais. Isso significa que os municípios de Goiás, ao cumprirem as metas de desvios de RU dos aterros determinadas pelo PLANARES, estarão reduzindo os impactos ambientais.

Finalmente, os resultados da análise de sensibilidade mostraram que o aumento das distâncias de transporte dos materiais recicláveis da triagem para a indústria de reciclagem tem um impacto acrescido, pois as economias ambientais que se conseguem com a reciclagem serão reduzidas ao se aumentar as distâncias de transporte destes materiais. Na

prática, os gestores públicos dos municípios do Estado de Goiás devem buscar parcerias com indústrias de reciclagem, assim como incentivar a instalação destas indústrias mais próximas aos SGRU. Quanto ao tipo de DA que deve ser instalada pelos municípios, a DA “via seca” apresentou melhores resultados ambientais em nove das 12 categorias avaliadas em comparação com a DA “via húmida”, facto que deve ser ponderado caso esta seja a tecnologia escolhida para tratar os biorresíduos a ser desviados dos aterros.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Brasil. O 1º autor, Diogo Appel Colvero, é investigador do CNPq, Processo n.º 207172/2014-5.

Referências bibliográficas

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). *NBR 8.419: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos*. Rio de Janeiro.
- Abramovay, R., Speranza, J. S., & Petitgand, C. (2013). *Lixo Zero: gestão de resíduos sólidos para uma sociedade mais próspera*. São Paulo: Planeta sustentável: Instituto Ethos.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2013). Atlas brasileiro de emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos. São Paulo, SP, Brasil. Retrieved from http://www.abrelpe.org.br/arquivos/atlas_portugues_2013.pdf
- Alfaia, R. G. de S. M., Costa, A. M., & Campos, J. C. (2017). Municipal solid waste in Brazil: A review. *Waste Management & Research*, 0734242X1773537. <https://doi.org/10.1177/0734242X17735375>
- Andersen, J. K., Boldrin, A., Christensen, T. H., & Scheutz, C. (2010). Mass balances and life-cycle inventory for a garden waste windrow composting plant (Aarhus, Denmark). *Waste Management & Research*, 28(11), 1010–1020. <https://doi.org/10.1177/0734242X10360216>
- Anjos, A. F. dos. (2009). A dinâmica intraurbana de Goianira no contexto da região metropolitana de Goiânia (Master's thesis). Universidade Federal de Goiás.
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente. (2015). Relatório anual resíduos urbanos 2015 - fichas individuais por SGRU. Retrieved from https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Residuos/Residuos_Urbanos/Fichas_SGRU_2016.pdf
- Bassi, S. A., Christensen, T. H., & Damgaard, A. (2017). Environmental performance of household waste management in Europe - an example of 7 countries. Technical University of Denmark. Lyngby, Denmark. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.042>

- Bernstad Saraiva, A., Souza, R. G., & Valle, R. A. B. (2017). Comparative lifecycle assessment of alternatives for waste management in Rio de Janeiro – Investigating the influence of an attributional or consequential approach. *Waste Management*, 68, 701–710. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.002>
- Bisinella, V., Conradsen, K., Christensen, T. H., & Astrup, T. F. (2016). A global approach for sparse representation of uncertainty in Life Cycle Assessments of waste management systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(3), 378–394. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-1014-4>
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2012). Produto 7: Relatório final sobre as principais rotas tecnológicas de destinação de resíduos sólidos urbanos no Exterior e no Brasil. Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados U. Recife: FADE.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2014). Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Jaboatão dos Guararapes.
- Brasil. Constituição da República Federativa do Brasil. (1988). Brasília, DF, Brasil: Presidência da República. Casa Civil.
- Brasil. Lei 12.305, de 2 de agosto. (2010). Brasília, DF, Brasil: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm
- Bridi, E. (2008). Resíduos sólidos urbanos - uma proposta para otimização dos serviços de coleta e da disposição final (Master's thesis). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Retrieved from <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/14739>
- Brogaard, L. K., & Christensen, T. H. (2016). Life cycle assessment of capital goods in waste management systems. *Waste Management*, 56, 561–574. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.07.037>
- Bruun, S., Hansen, T. L., Christensen, T. H., Magid, J., & Jensen, L. S. (2006). Application of processed organic municipal solid waste on agricultural land - A scenario analysis. *Environmental Modeling and Assessment*, 11(3), 251–265. <https://doi.org/10.1007/s10666-005-9028-0>
- Cardoso, M. R. D., Marcuzzo, F. F. N., & Barros, J. R. (2012). Caracterização da temperatura do ar no Estado de Goiás e no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Climatologia*, 11(8), 119–134. <https://doi.org/2237-8642>
- Cardoso, M. R. D., Marcuzzo, F. F. N., & Barros, J. R. (2014). Classificação climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. *ACTA Geografia*, 8(16), 40–55. <https://doi.org/10.5654/actageo2014.0004.0016>
- Chen, Y.-C., & Lo, S.-L. (2016). Evaluation of greenhouse gas emissions for several municipal solid waste management strategies. *Journal of Cleaner Production*, 113, 606–612. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.058>

- Cherubini, F., Bargigli, S., & Ulgiati, S. (2009). Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, 34(12), 2116–2123. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2008.08.023>
- Cimpan, C., Maul, A., Jansen, M., Pretz, T., & Wenzel, H. (2015). Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: A review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling. *Journal of Environmental Management*, 156, 181–199. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.03.025>
- Cimpan, C., Maul, A., Wenzel, H., & Pretz, T. (2016). Techno-economic assessment of central sorting at material recovery facilities - The case of lightweight packaging waste. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4387–4397. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.011>
- Clavreul, J., Baumeister, H., Christensen, T. H., & Damgaard, A. (2014). An environmental assessment system for environmental technologies. *Environmental Modelling & Software*, 60, 18–30. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.06.007>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., & Matos, M. A. A. de. (2017). Municipal solid waste in Goiás (Brazil): current scenario and projections for the future. *Journal of Sedimentary Environments*, 2(3), 236–249. <https://doi.org/10.12957/jse.2017.31131>
- Colvero, D. A., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. da C., Matos, M. A. A. de, & Santos, K. A. dos. (2018). Use of a geographic information system to find areas for locating of municipal solid waste management facilities. *Waste Management*, (77), 500–515. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.036>
- Colvero, D. A., Pfeiffer, S. C., & Carvalho, E. H. de. (2016). Materiais recicláveis provindos dos resíduos urbanos: caso de estudo para o estado de Goiás, Brasil. In P. J. Ramísio, G. A. Lopes, L. M. C. Pinto, F. Leite, & M. J. Rosa (Eds.), *A Engenharia Sanitária nas Cidades do Futuro: Livro de Comunicações do 17.o Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental/ENASB* (pp. 713–720). Lisboa.
- Crespo, E. de J. M. (2013). Digestão anaeróbia de resíduos agroalimentares: reutilização das frações líquidas e sólidas (state-of-art). Licenciatura em Energias Renováveis e Ambiente. Universidade Nova de Lisboa.
- DTU – Technical University of Denmark. (2016). EASETECH Impact categories and impact methods. Kgs. Lyngby, Denmark. Retrieved from Personal Communication with Dr. Anders Damgaard, DTU.
- EC – European Commission. (2008). *European Parliament and Council. Directive 2008/98/EC of 22 november 2008 on waste and repealing certain Directives*. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=PT>
- EC – European Commission. (2010). General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. Office of the European Union (1a ed.). Luxembourg: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. <https://doi.org/10.2788/38479>
- FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente, & Engebio Engenharia S/S Ltda. (2010). Estudo do estado da arte e análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com

- geração de energia elétrica no estado de Minas Gerais - Relatório 1. Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Fernández-González, J. M., Grindlay, A. L., Serrano-Bernardo, F., Rodríguez-Rojas, M. I., & Zamorano, M. (2017). Economic and environmental review of Waste-to-Energy systems for municipal solid waste management in medium and small municipalities. *Waste Management*, 67, 360–374. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.003>
- FIEG – Federação das Indústrias do Estado de Goiás. (2015). Pólos industriais do Estado de Goiás - Aparecida de Goiânia. Goiânia. Retrieved from https://issuu.com/sistemafieg/docs/polo_industrial_aparecida
- Garcia, M. B. dos S., Lanzellotti Neto, J., Mendes, J. G., Xerfan, F. M. de F., Vasconcellos, C. A. B. de, & Friede, R. R. (2015). Resíduos sólidos: responsabilidade compartilhada. *Semioses*, 9(2), 77–91. <https://doi.org/10.15202/1981996X.2015v9n2p77>
- Gbanie, S. P., Tengbe, P. B., Momoh, J. S., Medo, J., & Kabba, V. T. S. (2013). Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. *Applied Geography*, 36, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.06.013>
- Grimberg, E., & Blauth, P. (1998). Coleta seletiva de lixo: reciclando materiais, reciclando valores. *Pólis* (Vol. 31).
- Gueri, M. V. D., Souza, S. N. M. de, & Kuczman, O. (2018). Parâmetros operacionais do processo de digestão anaeróbia de resíduos alimentares: uma revisão. *Biofix Scientific Journal*, 3(1), 17–25.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). Censo demográfico brasileiro 2010. Brasília/DF. Retrieved from <http://cod.ibge.gov.br/23266>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2016). Cidades@Goiás. Retrieved May 4, 2016, from <http://cod.ibge.gov.br/1V4>
- ILCD – International Reference Life Cycle Data System. (2011). ILCD Handbook: recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. Office of the European Union. Luxembourg. <https://doi.org/10.278/33030>
- IMB – Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. (2014a). Estatísticas das Meso e Microrregiões do Estado de Goiás – 2013. Goiânia/GO.
- IMB – Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. (2014b). Regiões de planejamento 2013 – Estado de Goiás. Retrieved May 23, 2017, from <http://www.imb.go.gov.br/down/regplan2013.pdf>
- ISO – International Organization for Standardization. (2006a). Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and framework. Geneva, CH.
- ISO – International Organization for Standardization. (2006b). Environmental management Life cycle assessment Requirements and guidelines. Geneva, CH.
- Lagerkvist, A., Ecke, H., & Christensen, T. H. (2011). Waste characterization: Approaches and methods. *Solid Waste Technology and Management*.

- Larsen, A. W., Vrgoc, M., Christensen, T. H., & Lieberknecht, P. (2009). Diesel consumption in waste collection and transport and its environmental significance. *Waste Manag Res*, 27(7), 652–659. <https://doi.org/10.1177/0734242X08097636>
- Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstad, A., Niero, M., Gentil, E., ... & Christensen, T. H. (2013). Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Management*, 34(3), 573–588. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.045>
- Lavee, D., & Nardiya, S. (2013). A cost evaluation method for transferring municipalities to solid waste source-separated system. *Waste Management*, 33(5), 1064–1072. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.026>
- Leme, M. M. V., Rocha, M. H., Lora, E. E. S., Venturini, O. J., Lopes, B. M., & Ferreira, C. H. (2014). Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from Municipal Solid Waste MSW in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, 8–20. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.03.003>
- Lima, P. D. M., Colvero, D. A., Gomes, A. P., Wenzel, H., Schalch, V., & Cimpanb, C. (2018). Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil. *Waste Management*, (78), 857–870. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.007>
- Malheiros, R., Campos, A. C., Oliveira, D. G. De, & Souza, H. A. de. (2014). Utilização de resíduos orgânicos por meio da compostagem como metodologia de ensino de gestão e educação ambiental. In *V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental* (pp. 1–7). Belo Horizonte/MG: IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Retrieved from <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2014/VII-028.pdf>
- Malinauskaite, J., Jouhara, H., Czajczyńska, D., Stanchev, P., Katsou, E., Rostkowski, P., ... Spencer, N. (2017). Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy*, 141, 2013–2044. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.128>
- Manfredi, S., & Christensen, T. H. (2009). Environmental assessment of solid waste landfilling technologies by means of LCA-modeling. *Waste Management*, 29(1), 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.02.021>
- Matos, M. A., Gomes, A. P., Tarelho, L. A., Nunes, M. I., Teixeira, C. A., & Fonseca, A. S. (2012). Urban waste management recyclables model based on carbon footprint, in: *1st International AFRICA Sustainable Waste Management Conference*. Lobito, Angola, pp. 1–10.
- McDougall, F. R., White, P. R., Franke, M., & Hindle, P. (2001). *Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory* (2nd ed.). USA: Blackwell Science Ltd, Blackwell Publishing Company.
- Meeker, J. D., Sathyanarayana, S., & Swan, S. H. (2009). Phthalates and other additives in plastics: human exposure and associated health outcomes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364, 2097–2113. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0268>
- Mendes, M. R., Aramaki, T., & Hanaki, K. (2004). Comparison of the environmental impact of incineration and landfilling in São Paulo City as determined by LCA.

- Resources, Conservation and Recycling, 41(1), 47–63.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2003.08.003>
- Merli, R., Preziosi, M., & Acampora, A. (2018). How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 178, 703–722. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.112>
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2012a). Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PLANARES. Brasil.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2012b). Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação. Apoiando a implementação da política nacional de resíduos sólidos: do nacional ao local. Brasília, DF.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2015). Portaria Interministerial no 60, de 24 de março. Estabelece procedimentos administrativos em processos de licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.
- Moberg, Å. (2006). Environmental systems analysis tools for decision-making: LCA and Swedish waste management as an example. US AB, Stockholm. Royal Institute of Technology. <https://doi.org/10.1108/eb034602>
- Møller, J., Jensen, M. B., Kromann, M., Neidel, T. L., & Jakobsen, B. (2013). Miljø- og samfundsøkonomisk vurdering af muligheder for øget genanvendelse af papir, pap, plast, metal og organisk affald fra dagrenovation. Miljøprojekt nr. 1458. <https://doi.org/978-87-92903-80-8>
- Nabavi-Pelesaraei, A., Bayat, R., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Afrasyabi, H., & Chau, K.-W. (2017). Modeling of energy consumption and environmental life cycle assessment for incineration and landfill systems of municipal solid waste management - A case study in Tehran Metropolis of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 148, 427–440. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.172>
- Nascimento, J. C. F. do. (2007). Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos. Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.18.2007.tde-10082007-132150>
- Netto, C. R. B., & Santos, H. I. (2012). Avaliação da Operação do Aterro Sanitário de Catalão – Goiás. Univ. Católica Goiás. Pontifícia Universidade Católica de Goiás - PUC/GO.
- Nizami, A. S., & Murphy, J. D. (2010). What type of digester configurations should be employed to produce biomethane from grass silage? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(6), 1558–1568. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.02.006>
- Nkemka, V. N., & Hao, X. (2018). Start-up of a sequential dry anaerobic digestion of paunch under psychrophilic and mesophilic temperatures. *Waste Management*, 74(August), 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.06.022>
- Olesen, O. U., & Damgaard, A. (2014). Landfilling in EASETECH - Data collection and modelling of the landfill modules in EASETECH.
- Oliveira, M. A. de, & Gonçalves, N. da S. (2015). Estudo comparativo entre o aterro sanitário de Samambaia x lixão da Estrutural. Universidade Católica de Brasília.

- Pearson, C., Littlewood, E., Douglas, P., Robertson, S., Gant, T. W., & Hansel, A. L. (2015). Exposures and health outcomes in relation to bioaerosol emissions from composting facilities: a systematic review of occupational and community studies. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 18(1), 43–69. <https://doi.org/10.1080/10937404.2015.1009961>
- Pereira, C. D., Franco, D., & Castilhos Jr., A. B. de. (2013). Implantação de Estação de Transferência de Resíduos Sólidos Urbanos utilizando Tecnologia SIG. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 27(Março), 71–84. Retrieved from <https://www.yumpu.com/pt/document/fullscreen/51943509/edicao-27-marco-13-rbciamb>
- Piedade, M., Aguiar, P., & Ambirumo. (2010). Opções de gestão de resíduos urbanos. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos.
- PMCG – Prefeitura Municipal de Campo Grande. (2017). Plano de Coleta Seletiva de Campo Grande/MS. Estudo de caracterização física dos resíduos sólidos - versão 01. Campo Grande, MS, Brasil.
- Reichert, G. A. (2013). Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre (Doctoral dissertation). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Reichert, G. A., & Mendes, C. A. B. (2014). Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 19(3), 301–313. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000001145>
- Rezende, D. de A. (2011). Áreas rurais remanescentes no meio urbano: o Plano Diretor e o ordenamento territorial de Goiânia (Master's thesis). Pontifícia Universidade Católica de Goiás.
- Rodrigues, J. P. A. (2015). Caracterização de resíduos urbanos provenientes da restauração na união de freguesias da Glória e Vera Cruz, Aveiro - perspectiva de aplicação de um Sistema PAYT. Instituto Politécnico de Coimbra.
- Rosa, B. P., Paula, B. C. de D. L., Coleone, E. S. do A., & Campos, F. (2017). Impactos causados em cursos d' água por aterros controlados desativados no Município de São Paulo, Sudeste do Brasil. *Rev. Bras. Gestão Ambient. e Sustentabilidade* 4, 63–76.
- Russo, M. A. T. (2003). Tratamento de resíduos sólidos. Universidade de Coimbra. Retrieved from http://www1.ci.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/Tratamentos_Residuos_Solidos.pdf
- Sala, S., Crenna, E., Secchi, M., & Pant, R. (2017). Global normalisation factors for the Environmental Footprint and Life Cycle Assessment. <https://doi.org/10.2760/88930>
- Sánchez, Ó. J., Ospina, D. A., & Montoya, S. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Management*, 69(26), 136–153. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.012>
- SECIMA/GO – Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. (2015). Nota técnica – aterros sanitários. Goiânia, GO, Brasil, Brasil.

- SEGPLAN – Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento, & SEPIN – Superintendência de Estatística Pesquisa e Informações Socioeconômicas. (2011). Dinâmica populacional de Goiás: uma análise do Censo 2010 do IBGE. Goiânia. Retrieved from http://www.imb.go.gov.br/down/dinamica_populacional_de_goiias.pdf
- SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás. (2013). Questionário acerca do sistema de gestão e disposição final do lixo urbano nos municípios goianos. Goiânia/GO.
- SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás. Resolução n.º 005/2014 – CEMAm, de 26 de fevereiro. (2014). Goiânia/GO: Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental dos projetos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, na modalidade aterro sanitário, nos municípios do Estado de Goiás.
- SEPLAN – Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento do Estado de Goiás. (2010). Perfil Competitivo das Regiões de Planejamento do Estado de Goiás. Goiânia. Retrieved from <http://www.sgc.goias.gov.br/upload/anexos/2011-04/f40892f24f7def77a05e7bce682943ff.pdf>
- SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. (2015). SIG – Shapefiles. Retrieved from <http://www2.sieg.go.gov.br/post/ver/171319>
- Silva, C. A. da, & Andreoli, C. V. (2010). Compostagem como alternativa a disposição final dos resíduos sólidos gerados na CEASA Curitiba/PR. *Revista Engenharia Ambiental*, 7(2), 27–40.
- Silva, L. C., Roza, B. C., & Rathmann, R. (2012). Gestão de resíduos sólidos urbanos na cidade do Porto (Portugal): um exemplo de prática sustentável? *Revista de Gestão Social E Ambiental*, 6(2), 60–78. <https://doi.org/10.5773/rgsa.v6i2.372>
- SNSA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. (2016). Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2014. Brasília, DF, Brasil. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Troschinetz, A. M., & Mihelcic, J. R. (2009). Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. *Waste Management*, 29(2), 915–923. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.04.016>
- Tsilemou, K., & Panagiotakopoulos, D. (2006). Approximate cost functions for solid waste treatment facilities. *Waste Management & Research*, 24(4), 310–322. <https://doi.org/10.1177/0734242X06066343>
- US EPA – United States Environmental Protection Agency. (2002). Waste Transfer Stations: a manual for decision-making. Washington. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/r02002.pdf>
- Vergara, S. E., Damgaard, A., & Gomez, D. (2016). The Efficiency of Informality: Quantifying Greenhouse Gas Reductions from Informal Recycling in Bogotá, Colombia. *Journal of Industrial Ecology*, 20(1), 107–119. <https://doi.org/10.1111/jiec.12257>
- Ward, M. H. (2008). Too much of a good thing? Nitrate from Nitrogen fertilizers and cancer. *Reviews on Environmental Health*, 24(4), 357–363.

- White, P., Franke, M., & Hindle, P. (1996). Integrated solid waste management: a lifecycle inventory. Glasgow G64 2NZ, UK: Blackie Academic & Professional.
- Woon, K. S., & Lo, I. M. C. (2016). A proposed framework of food waste collection and recycling for renewable biogas fuel production in Hong Kong. *Waste Management*, 47, 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.022>
- World Bank. (2012). What a Waste. A Global Review of Solid Waste Management. Urban Development & Local Government Unit. Washington. <https://doi.org/10.1111/febs.13058>

SECÇÃO F – Conclusões da tese e sugestões para estudos futuros

Na Secção F estão apresentadas as principais conclusões obtidas no estudo desenvolvido, assim como sugestões de trabalhos que podem ser desenvolvidos futuramente acerca da temática que foi estudada.

14. Principais conclusões e sugestões para trabalhos futuros

14.1. Conclusões e recomendações

As estimativas de crescimento populacional e, conseqüentemente, aumento da produção de resíduos urbanos (RU), impõe a urgente necessidade de mudança no panorama da gestão dos RU nos municípios do Estado de Goiás, Brasil. O atual modelo de gestão dos RU, que possui 230 dos 246 municípios goianos a encaminhar seus RU para lixeiras ou aterros não licenciados contraria a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, legislação brasileira que determinou que até agosto de 2014 os municípios brasileiros deveriam erradicar seus sistemas inadequados de deposição final de RU. Além disso, esta gestão dos RU focada na deposição final, com uma taxa de desvios de RU dos aterros de apenas 2% (de materiais recicláveis secos), e sem desvio de biorresíduos, evidencia o quão deficitária é a gestão dos RU em Goiás.

Dessa forma, a partir dos estudos desenvolvidos nesta tese, as seguintes conclusões foram delineadas:

- Os *catadores* de materiais potencialmente recicláveis precisam ser oficialmente integrados no modelo de gestão dos RU. Primeiramente porque estes profissionais atuam como agentes ambientais, sendo os responsáveis pelos cerca de 2% de materiais recicláveis que atualmente são desviados da deposição final em Goiás. Segundo por uma questão de saúde pública, tendo em vista que estas pessoas não podem mais trabalhar catando resíduos nas ruas, ou o que é pior, em lixeiras ou aterros controlados do Estado. Além disso, a PNRS estabelece que os municípios brasileiros devem implantar programas de coleta diferenciada de materiais recicláveis secos com a participação dos *catadores*;
- Os inadequados sistemas de deposição final de Goiás que estão a operar junto à população e aos recursos hídricos devem ser encerrados, pois podem trazer danos à saúde humana e ao ambiente. Um exemplo é o aterro não licenciado de Goiânia, capital do Estado, que está a menos de 300 m do perímetro urbano e a 400 m de recursos hídricos, estando em desacordo com a legislação goiana e brasileira que estão vigentes. Salienta-se ainda que, em 2040, as estimativas apontam que Goiânia produzirá quantitativos de RU superiores a 2 mil t·dia⁻¹, o que denota a necessidade de um sistema de gestão de resíduos urbanos (SGRU) que prime pela valorização destes resíduos;

- Estima-se que até 2040 serão produzidas em Goiás cerca de 6 850 t·dia⁻¹ de RU, um crescimento de cerca de 40% em comparação a 2015. Sendo que, três das 10 regiões de planejamento de Goiás, nomeadamente *Metropolitana de Goiânia*, *Entorno do Distrito Federal* e *Sudoeste Goiano*, serão responsáveis pela produção de cerca de 70% dos RU do Estado. Esta situação evidencia que os municípios goianos tem um problema ambiental e de saúde pública a resolver;

- O Brasil e o Estado de Goiás possuem documentos legais que direcionam para a hierarquia de gestão dos RU. A legislação brasileira, através da PNRS, define que terão prioridade aos recursos financeiros da União os municípios que optarem por soluções partilhadas de gestão dos RU, assim como integrarem os *catadores* na rota dos materiais recicláveis;

- A identificação de que 60% do território de Goiás é restrito para a instalação de sistemas de deposição final de RU derrubou um paradigma de que o Estado (e o Brasil) possui área para a construção de aterros indiscriminadamente. Os municípios goianos precisam de uma gestão dos RU profissional, responsável e que esteja preocupada com o passivo ambiental existente em Goiás, que tem pelo menos 182 aterros/lixeiros instalados em áreas restritas, dentre eles 10 dos 15 aterros licenciados pela Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos (SECIMA/GO);

- A partir de uma avaliação do ciclo de vida (ACV), identificou-se que os modelos de gestão voltados para as eliminações diretas dos RU em sistemas de deposição final, sejam estes licenciados (aterros) ou não licenciados (lixeiros e aterros controlados), são os que causam os maiores impactos ambientais. Em contrapartida, o desvio de recicláveis para as indústrias recicladoras contribuem com significativas poupanças líquidas para o ambiente. Ressalta-se ainda, que os modelos de gestão com somente dois fluxos de recolha (seco e húmido) podem trazer passivos ambientais, pois o composto proveniente do fluxo húmido pode ter elevados níveis de contaminação por elementos potencialmente tóxicos (metais pesados). Este mesmo problema é identificado quando há somente um fluxo de recolha (recolha indiferenciada de resíduos) a ser enviado para os tratamentos mecânico-biológico (TMB). Contudo, nos TMB há a produção de combustível derivado de resíduos (CDR), que se forem utilizados pelas indústrias cimenteiras em substituição ao coque de petróleo, podem contribuir com as emissões evitadas para o

ambiente. Vale salientar que a utilização dos CDR no Brasil necessita de mais investigações que testem as viabilidades técnica, económica e ambiental deste produto;

- Os 46 SGRU propostos neste estudo, sendo destes 40 partilhados, podem servir de suporte para que o Estado implemente uma gestão viável economicamente, pois a otimização dos sistemas, com ganhos de escala nos quantitativos de RU tratados, e com menores deslocações com o transporte dos RU, reduzirão os custos da gestão destes resíduos;

- Os municípios/SGRU de pequeno porte (até 50 mil habitantes), devem focar em sistemas com recolha diferenciada, triagem e compostagem para atingir o máximo de desvios de RU na fonte, sendo que o restante destes resíduos deve ser encaminhado para aterros sem aproveitamento energético. Os SGRU de pequeno porte partilhados devem ter as operações de tratamento dos RU descentralizadas (triagem, compostagem) a nível municipal, estando centralizada a deposição final dos RU. Este modelo contribuirá para uma economia com os custos no transporte dos RU;

- Para o SGRU proposto para os 19 municípios situados junto à Goiânia, que em 2040 produzirão em torno de 2 950 t·dia⁻¹ de RU (cerca de 43% dos RU de Goiás), o modelo de gestão também deve visar sistemas de tratamento de RU com operação local nos municípios (ou seja, descentralizados) e com a eliminação (incineração e aterro) centralizada. A incineração, com produção de energia elétrica, é uma alternativa para atrair investidores e garantir a sustentabilidade económica do SGRU. Contudo, ressalta-se que este modelo deve primar pela hierarquia de gestão dos resíduos, para que não sejam encaminhados para a incineração todos os RU produzidos, o que poderia inclusivamente reduzir o poder calorífico inferior (PCI) dos RU que chegarão à incineração e, consequentemente, comprometer a valorização energética destes resíduos. Outro ponto importante identificado neste SGRU de grande porte se refere ao tratamento dos biorresíduos, em que a compostagem se mostrou mais atrativa economicamente do que a digestão anaeróbia (DA) que, por sua vez, apresentou melhores resultados ambientais. Caberá aos municípios avaliarem, individualmente, qual das alternativas escolher, sendo que aqueles que optarem pela DA, possivelmente terão melhores resultados ambientais ao escolherem a DA “via seca” ao invés da DA “via húmida”;

- Quanto maiores forem as taxas de desvios de RU dos aterros, melhores serão os resultados das economias líquidas de emissões ao ambiente. De modo que a reciclagem,

a economia de energia (a partir da substituição) e os fertilizantes evitados (obtidos com a aplicação no solo de fertilizantes naturais em substituição dos fertilizantes minerais), representarão significativas economias líquidas nos SGRU;

- A sustentabilidade económica de qualquer SGRU está dependente do pagamento de uma tarifa de gestão dos resíduos por parte da população. Os municípios goianos não podem mais depender do Imposto Predial e Territorial Urbano – IPTU, pois este tributo é insuficiente e inadequado para custear a gestão dos RU, tendo em vista que não foi criado para esta finalidade. Além disso, o Estado de Goiás deve buscar parcerias com a iniciativa privada para a implantação e operação dos SGRU propostos;

- De modo geral, independentemente do quantitativo de RU a ser tratado pelos SGRU propostos para Goiás, o foco deve ser em sistemas partilhados, com serviço de recolha diferenciada na fonte, tratamento dos recicláveis secos e dos biorresíduos de forma descentralizada, estando centralizadas as operações de eliminação. Este modelo de gestão, juntamente com os 46 SGRU apresentados e com as análises económica e ambiental realizadas nesta tese poderão auxiliar os tomadores de decisão do Estado na definição das melhores alternativas para a gestão dos RU de Goiás. Salienta-se ainda que os SGRU propostos podem ser alterados de acordo com critérios a serem avaliados pelos municípios, ou seja, um município pode integrar um SGRU diferente ao que foi proposto para ele. Contudo, os municípios tem que levar em consideração as análises económica, ambiental e social para a tomada de decisão, assim como respeitar a legislação.

14.2. Limitações e sugestões para estudos futuros

Uma das principais limitações enfrentadas neste estudo foi quanto à obtenção de dados primários fiáveis que representassem a realidade quanto à produção de RU nos municípios goianos. Tanto que, para os dois SGRU avaliados neste estudo (SGRU de Monte Alegre de Goiás e SGRU de Aparecida de Goiânia), optou-se por utilizar as estimativas da produção que levasse em consideração dados secundários, e não os valores de produção de RU disponibilizados pelos próprios municípios goianos. A não fiabilidade nos dados fornecidos, assim como a falta de uma caracterização que indique o teor de humidade e o PCI de cada componente dos RU, é reflexo da carência de infraestruturas adequadas para a gestão dos RU.

Além disso, a ausência de informações acerca das operações que envolvem a gestão dos RU fez com que se optasse por fazer análises de sensibilidade na avaliação económica

e na ACV realizada para o SGRU proposto para atender os 19 municípios que estão junto a Goiânia, capital do Estado. De qualquer modo, mesmo com as incertezas inerentes a quaisquer análises para um SGRU, foi dado um importante passo para que um Estado que tem uma deficitária gestão dos RU, tenha um plano estratégico efetivo e que possa auxiliar na mudança do panorama da gestão dos RU.

Com base nas análises realizadas no presente estudo, são mencionadas algumas propostas para estudos futuros:

- Sugere-se uma caracterização completa e detalhada dos RU dos municípios goianos (ou de um conjunto de municípios de diferentes portes populacionais), que inclua informações como a composição, o teor de humidade e o PCI dos RU, dados que ajudarão em futuras modelagens para efetuar ACV nos municípios goianos;
- Elaboração de um estudo detalhado da implementação da recolha diferenciada de materiais recicláveis secos e de biorresíduos nos municípios goianos;
- Realização de análise económica e ambiental para os SGRU propostos que atenderão entre 50 mil e 1 milhão de habitantes. Para estes municípios, uma das alternativas a se avaliar para ampliar as taxas de desvios de RU de aterro são os sistemas que contemplem TMB. Em Cocalzinho de Goiás, que foi definido como município-sede de um dos SGRU propostos, há uma indústria cimenteira. De modo que, a proximidade geográfica abre a possibilidade dos tomadores de decisão contactarem a indústria de cimento deste município para que, juntos, avaliem uma possível parceria entre o SGRU e esta indústria, que receberia os CDR provenientes de um TMB. Obviamente que esta alternativa também pode ser avaliada por outros SGRU propostos que estejam próximos a indústrias cimenteiras de Goiás.
- Elaboração de estudos que apontem a localização exata de onde devem ser implantados os aterros em cada um dos 46 SGRU propostos para Goiás, tendo em vista que os aterros são sistemas fundamentais para receber os RU não desviados nos SGRU a serem implementados, e devem estar o mais próximo possível dos centros produtores de RU;
- Avaliação económica e ambiental acerca do encerramento e pós-monitoramento das lixeiras e aterros não licenciados de Goiás que devem ser erradicados;

Finalmente, destaca-se que o presente estudo não pretendeu esgotar as discussões acerca da gestão dos RU, e sim fomentar para a necessidade dos municípios goianos se

organizarem e alterarem o atual panorama destes resíduos no Estado. Ademais, este trabalho visou apontar caminhos futuros para a gestão dos RU, assim como suportar outros estudos e as decisões dos gestores públicos dos municípios goianos, e de municípios de outros Estados brasileiros que estejam a enfrentar problemas similares aos de Goiás para gerir seus RU.